

Nouvelles perspectives en sciences sociales



Analogie, évolution scientifique et réseaux complexes

Bernard Ancori

Volume 1, numéro 1, mars 2005

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/602445ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/602445ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Prise de parole

ISSN

1712-8307 (imprimé)

1918-7475 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Ancori, B. (2005). Analogie, évolution scientifique et réseaux complexes. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 1(1), 9–61.
<https://doi.org/10.7202/602445ar>

Tous droits réservés © Prise de parole, 2005

Cet document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

<https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

érudit

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

<https://www.erudit.org/fr/>

Analogie, évolution scientifique et réseaux complexes

BERNARD ANCORI

Université Louis Pasteur (Strasbourg I)
Directeur de l'Institut de Recherches
Interdisciplinaires sur les Sciences
et la Technologie

1. Position du problème

L'utilisation de l'analogie et de la métaphore en sciences donne lieu à des jugements contrastés parmi les auteurs. Auprès de nombre d'entre eux, opposés à toute philosophie constructiviste en matière de sciences, le langage est dénué de signification lorsque celle-ci n'est pas littérale (Ortony, 1993). La réputation de l'analogie est alors exécration : « concept mou, concept flou, polymorphe et perfide, on a contre lui des griefs qui les uns ne sont que trop fondés, les autres le sont moins » (Gadoffre, 1980: 5). Ces griefs tiennent surtout à l'utilisation abusive du raisonnement par analogie qui, pour les logiciens, n'est pas un raisonnement à proprement parler, mais seulement un mode d'argumentation dans une rhétorique globale de discours. Ce genre d'utilisation agace le philosophe, soit parce qu'elle fait obstacle à la construction d'une axiomatique (Bachelard, 1970), soit parce qu'elle lui fait perdre son temps, tel Bouveresse contraint de prendre la plume pour s'élever, dans le sillage de « l'affaire Sokal », contre les errements d'une médiologie prompte à accommoder le théorème de Gödel à sa propre sauce : « ce que j'essaie de faire ici est typiquement le genre de chose qu'on ne devrait pas avoir à faire et qu'on pourrait très bien ne pas avoir à faire. Mais il faudrait pour cela que les fautifs acceptent de commencer eux-mêmes, autrement dit, veuillent bien essayer d'être un peu plus sérieux »

(1999: 14). Quant à la métaphore dont le rôle devrait se borner à servir d'illustration (Bachelard, 1970: 77 *sq.*), elle ferait apparaître, voire inventerait, certains traits des phénomènes, et s'opposerait ainsi au modèle, qui fait disparaître certains traits de ces derniers pour n'en retenir qu'un petit nombre. D'où la méfiance des scientifiques à son égard: « la métaphore opère des accroissements de liens, des multiplications d'images, des mises en résonance de concepts et d'images. Ce sens est exactement inverse de celui que suit la pensée scientifique lorsqu'elle cherche à simplifier une situation. Le modèle simplifie, la métaphore complique » (Nouvel, 2002: 194). Bref, l'une des tâches de la philosophie des sciences devrait consister en un projet d'élimination des analogies (Bunge, 1975).

Pourtant, une philosophie constructiviste¹ des rapports du langage au réel reste possible, et l'analogie comme la métaphore jouent alors un rôle fondamental pour la pensée. En fait, « une condamnation globale et sans appel de l'analogie n'aurait aucun sens et aucun effet. Mise à la porte, l'analogie revient par la fenêtre. Elle est trop liée aux opérations mentales les plus diverses, trop imbriquée dans la nature même du langage pour pouvoir être abolie. Autant s'empêcher de respirer pour protéger ses bronches contre la pollution » (Gadoffre, 1980: 6). C'est que l'analogie est malgré tout l'un des déterminants fondamentaux du fonctionnement cognitif, non seulement en matière d'apprentissage ou de transmission de connaissances acquises (Sander, 2002; Gineste, 1997: 107 *sq.*), mais aussi, à certaines conditions, en matière de production de représentations nouvelles (Utaker, 2002). Et il en va de même de la métaphore. Certes, l'analogie se distingue de la métaphore sur le plan proprement linguistique, et certains auteurs admettent la première tout en rejetant la seconde comme procédé d'argumentation valide (Perelman et Olbrechts-Tyteca, 2000). Néanmoins, métaphore et analogie apparaissent équivalentes lorsqu'on les considère à un niveau de généralité suffisamment élevé. Il en va ainsi dans notre texte qui ne considère analogie et métaphore qu'en tant qu'elles font toutes deux

¹ L'expression « épistémologie constructiviste » fut forgée par Piaget (cf. Piaget [dir.], 1967: 1243 *sq.*) à partir de l'interprétation du « constructivisme radical de Brouwer » (*ibid.*: 1238). Dans notre texte, l'adjectif « constructiviste » est pris au sens de Le Moigne (1990), qui oppose épistémologies positiviste et constructiviste sur la base de cinq principes: ontologie *vs* représentabilité, univers câblé *vs* univers construit, objectivité *vs* projectivité (interaction sujet-objet), naturalité de la logique *vs* argumentation générale, moindre action (ou optimum unique) *vs* action intelligente. Pour un historique et une présentation générale des constructivismes, voir Le Moigne (1994b, 1995a, 1995b). Pour une généalogie de l'épistémologie constructiviste dans la pensée de Le Moigne lui-même, voir en dernier lieu Le Moigne (2001).

fonctionner le même type d'opérations mentales en convoquant une notion de similitude entre objets². Mais là où l'analogie se contente d'énoncer cette similitude entre les rapports liant ces objets qu'elle maintient distincts, la métaphore va parfois jusqu'à identifier les objets en question. Là où l'analogie dit par exemple que « la coupe est à Dionysos ce que le bouclier est à Arès », se contentant d'exprimer ainsi une similitude entre la relation de la coupe à Dionysos, d'une part, et la relation du bouclier à Arès, d'autre part, la métaphore affirme: « l'homme est un loup ». Les similitudes en question peuvent objectivement préexister à leur expression langagière – c'est la tradition aristotélicienne – et l'analogie ou la métaphore sont alors interprétables immédiatement: « la coupe d'Arès » désigne manifestement le bouclier, comme « le bouclier de Dionysos » désigne la coupe. Mais elles peuvent également être arbitrairement construites par l'acte langagier lui-même « l'homme est un loup », et leur interprétation exige alors l'élaboration des ressemblances. Ainsi la « théorie de l'interaction », initiée par Richards (1936) et développée par Black (1962, 1993), insiste principalement sur le fait que dans certains cas analogie et métaphore ont pour effet de *créer* des ressemblances entre des objets considérés comme dissemblables jusqu'au moment de l'expression par ces deux figures de style d'une similitude inaperçue³.

² Nous n'utiliserons donc pas la distinction radicale établie par Ricœur (1975) entre métaphore poétique et analogie philosophique. Pour une discussion de cette distinction, voir Terré (1998: 214-224).

³ Comme le précise Gineste (1997: 135-136) à qui nous empruntons cet exemple, « Quand on dit de l'homme qu'il est un loup, on focalise l'attention sur une part des propriétés des loups, « férocité », « se déplacer en bande », « attaquer les plus faibles » et par là, on néglige les autres propriétés, telles que « avoir quatre pattes », « avoir des poils » ou « marcher à quatre pattes ». Puis on interprète les comportements de l'homme, dans les situations sociales en particulier, à l'aide des concepts qui caractérisent le loup. Alors seulement l'homme et le loup paraissent semblables. Un changement de niveau dans l'interprétation des traits permet l'assertion de la ressemblance. Élaborer une métaphore suppose donc de disposer d'une description des hommes et d'une description des loups et d'apercevoir, au-delà et en dépit des différences, les propriétés semblables présentes dans les deux descriptions. Mais ces propriétés semblables ne se construisent et n'apparaissent qu'après que la métaphore a été produite et interprétée. [...] Ce faisant [...] on crée [...] un nouveau champ sémantique ou à tout le moins de nouvelles propriétés pour les deux termes présents dans la métaphore. Les loups ne deviennent-ils pas plus humains, les hommes plus semblables à des loups? [...] La métaphore, dans le heurt qu'elle impose entre l'argument et le prédicat crée [...] une connaissance nouvelle ».

Selon Miller (2000), cette vision interactive « fut formulée spécifiquement pour faire ressortir la dimension créative de la pensée métaphorique. [...] La vision interactive de la métaphore par Black peut s'écrire de la façon suivante: x agit *comme s'il* était un $\{y\}$, où l'instrument de la métaphore – *comme si* – relie le sujet primaire mal compris x au sujet secondaire mieux compris y . Les accolades autour de y indiquent que y représente un ensemble de propriétés ou d'assertions, à l'instar d'une théorie scientifique. Les connexions reliant l'ensemble $\{y\}$ et le sujet primaire x ne sont en général pas évidentes ni même forcément valides, comme ce peut être le cas en recherche scientifique. La plupart du temps, x peut être également remplacé par $\{x\}$ qui désigne un ensemble de propriétés ou d'assertions. La dissemblance au premier abord entre les sujets primaire et secondaire se nomme la *tension* existant entre eux. Plus grande est la tension, plus grands sont les pouvoirs créatifs de la métaphore » (Miller, *ibid.*: 222, italiques de l'auteur)⁴. L'expression « instrument de la métaphore » utilisée par Miller à propos de l'adverbe de comparaison « comme si » semble ambiguë, car au sens linguistique, la métaphore n'incorpore pas ce procédé grammatical, contrairement à l'analogie substantielle⁵. Néanmoins, sur le plan cognitif où se situe cet auteur, les opérations mentales impliquées par l'analogie ou la métaphore sont indiscernables – et l'ambiguïté relevée s'en trouve du même coup dissipée: analogies et métaphores opèrent toutes deux des *catégorisations* plus ou moins inédites, sur la base de similitudes découvertes ou inventées entre deux objets de perception ou de pensée *a priori* distincts. Et puisque

⁴ Ce concept de « tension » trouve sa source chez Richards (1936), qui propose les termes de « teneur » et de « véhicule » pour désigner ce que Perelman et Olbrechts-Tyteca (2000) nomment « thème » et « phore » et que Miller appelle ici respectivement le « sujet primaire mal compris » et le « sujet secondaire mieux compris ». Bien que le vocabulaire de Richards soit le plus souvent utilisé dans la littérature consacrée aux métaphores, nous préférons celui de Gineste (1997: 135, n. 1) qui parle de « concept cible » et de « concept de base » ou « concept source », car un tel vocabulaire rend plus explicitement la dimension d'intentionnalité inhérente à la pensée.

⁵ La distinction entre analogie « substantielle » et analogie « formelle » est affirmée avec force par Bunge (1975: 135 *sq.*). L'analogie formelle, comme la métaphore, n'utilise pas explicitement le « comme si », et elle n'implique pas nécessairement l'analogie substantielle, bien qu'elle puisse être parfois interprétée comme un indice de cette dernière. Selon Bunge, dont nous rejoignons largement le verdict, l'analogie est une arme à double tranchant, féconde dans la phase initiale d'exploration d'un nouveau domaine scientifique, mais néfaste ensuite (cf. sur ce point Terré, 1998: 198-206).

nous nous situons précisément sur ce plan, nous ne distinguerons pas l'analogie de la métaphore – cette « analogie condensée », selon le mot de Perelman (1969) – et les désignerons toutes deux par le terme générique d'analogie.

Ce faisant, nous ne discuterons pas directement de la productivité de l'analogie en matière de *connaissances* scientifiques, au sens où ces dernières seraient des *croyances vraies justifiées*. La cause semble entendue depuis Aristote, dont Gineste (1997: 12) souligne à juste titre la modernité des conceptions: l'analogie, qui est pour le Stagirite l'une des modalités de la métaphore, est exclue de la logique qui, seule, peut construire des connaissances. Et sur le plan des pratiques scientifiques, Soler (2001) note que ce qui conduit une communauté de spécialistes à retenir une hypothèse issue d'une analogie n'est évidemment jamais seulement l'origine analogique de cette hypothèse, mais une série de procédures débouchant éventuellement sur sa corroboration en l'état actuel des connaissances. Dans le meilleur des cas, l'analogie s'inscrit donc au cœur de la connaissance à l'état naissant en caractérisant par anticipation quelque chose d'inédit, dont on ne peut encore parler avec une pertinence assurée (Schlanger, 1995). Son énonciation est un acte risqué, et la question de son adéquation à la vérité (au sens d'une *vérité-correspondance*) est dépourvue de sens en étant posée globalement, chaque analogie particulière pouvant se révéler vraie, ou non, au terme d'un processus de justification de son énoncé⁶. Nous ne nous intéresserons pas davantage à l'efficacité persuasive de l'analogie. Cette question renvoie à une notion de *vérité-consensus* qui fait dépendre cette efficacité « de l'existence de conventions sociales partagées et en particulier, sans doute, de l'autorité conférée par ces conventions à ceux qui en font usage. Elle dépend également d'autres ressemblances de famille déjà existantes » (Fox Keller,

⁶ C'est ainsi que l'idée d'analogie fut fondatrice de l'anatomie comparée en qualifiant d'analogues des organes ayant des origines différentes et des fonctions semblables (l'aile des insectes et l'aile des oiseaux). Mais cette fécondité globale n'évita pas des accidents de parcours, tels que l'invention d'animaux imaginaires issus de la volonté de « pousser jusqu'au bout le parallélisme entre sociétés animales et sociétés humaines » (Gadoffre, 1980: 7). Les hommes du XVI^e siècle estimèrent ainsi vraisemblable l'existence du moine de mer ou de l'évêque de mer (cf. Céard, 1980: 82). Dans cet ordre d'idées, Bouveresse rappelle la démonstration brillante de Musil justifiant ironiquement la définition du papillon comme étant le Chinois nain ailé d'Europe centrale, par le fait qu'il existe des papillons jaune citron et qu'il existe également des Chinois jaune citron (1999: 21-22).

1999: 12)⁷. Son analyse relève ainsi du volet proprement sociologique d'une approche sociocognitive unifiée de l'évolution scientifique, et elle fera l'objet d'un travail ultérieur.

Ni vérité-correspondance, ni vérité-consensus: le rapport au vrai de l'analogie nous concernera ici sous le seul angle d'une conception pragmatiste de la vérité, par le biais d'une interrogation sur son pouvoir créateur en matière de *représentations* – ces *croyances qui peuvent se révéler fausses*. Aristote lui-même nous y invite lorsqu'il remarque dans ses *Seconds Analytiques* (98 a) la ressemblance entre l'écho – cette masse d'air qui rebondit comme une balle sur un mur – et la lumière quand elle se réfléchit. Maîtriser un domaine de connaissances A et connaître partiellement un nouveau domaine B permet parfois d'y reconnaître certaines ressemblances et d'élaborer des hypothèses sur le nouveau domaine. En ce sens, la fonction psychologique essentielle de l'analogie consiste en l'appréhension d'une situation nouvelle ou mal connue en la traitant comme une situation connue (Sander, 2002). Dans le domaine proprement scientifique, cette fonction participe donc plutôt du contexte de la découverte que de celui de la justification, pour reprendre la distinction conceptuelle de Reichenbach (1938) – bien qu'elle apparaisse parfois peu tranchée en pratique. Comme l'a remarqué récemment Utaker, c'est sans doute une faiblesse inhérente à la philosophie des sciences que de sous-estimer « la découverte ou la formation spécifique d'une connaissance nouvelle (appartenant à la *psychologie du chercheur* en face d'une *logique de la justification*, ou à une *révolution* en face de la *science normale*) » (2002: 203). C'est cette faiblesse que nous voudrions contribuer à atténuer en analysant le rôle de l'analogie dans ce contexte, sans lequel celui de la justification perdrait probablement beaucoup des éléments que l'on s'y emploie à justifier (cf. Jacques, 1989).

⁷ Fox Keller donne l'exemple du processus de fécondation biologique. « Il y a vingt ans, ce processus pouvait être décrit de manière à la fois efficace et acceptable dans des termes évoquant le mythe de la Belle au bois dormant (pénétration, conquête et réveil de l'œuf par le spermatozoïde, par exemple), précisément parce que cette imagerie correspondait aux stéréotypes sexuels dominants [...]. De nos jours, c'est une autre métaphore qui nous paraît à la fois plus utile et plus acceptable: dans les manuels contemporains, on a plutôt tendance à parler de la fécondation dans le langage de l'égalité des chances – définie, par exemple, comme le processus de rencontre et de fusion de l'ovule et du spermatozoïde [...]. Ce qui était une métaphore socialement effective il y a une vingtaine d'années a cessé de l'être, en grande partie en raison d'une évolution radicale de la perception idéologique de la différence des genres » (1999: 12).

À condition de ne pas rabattre le familier sur le nouveau en s'attachant obstinément au déjà connu et en traduisant ainsi un refus de l'innovation⁸, mais de faire au contraire « contrepoids aux habitudes intellectuelles qui incitent quant à elles plutôt la pensée à réemprunter toujours les mêmes chemins » (Soler, 2001: 117), l'analogie a plus de chances que d'autres méthodes d'investigation de conduire à des hypothèses nouvelles. Nous mènerons ici l'analyse de ce contrepoids dans le cadre de la théorie des systèmes adaptatifs complexes. Selon Gell-Mann (1995: 33 *sq.*), de tels systèmes obtiennent de l'information à propos de leur environnement et de leurs interactions avec celui-ci, identifient des régularités au sein de cette information et condensent ces régularités en formulant des modèles afin d'agir dans le monde réel sur la base de ces derniers. Dans chaque cas, il existe plusieurs modèles en compétition, et l'action dans le monde réel exerce une influence rétroactive sur cette compétition. Plus précisément, chacun de ces modèles s'enrichit alors d'informations supplémentaires, parmi lesquelles figurent celles qui avaient été négligées lors de l'extraction de régularités à partir du flux de données initialement observables. Et ceci afin d'obtenir un résultat applicable au « monde réel », c'est-à-dire la description d'un système observé, la prédiction d'événements, ou l'indication d'un comportement pour le système adaptatif complexe lui-même. D'après ce même auteur, ce qu'il appelle « l'entreprise scientifique » s'inscrit parfaitement dans un tel cadre conceptuel. Les modèles sont ici des théories, et ce qui arrive dans le « monde réel » est la confrontation entre théories et observations. De nouvelles théories peuvent venir concurrencer celles qui existent déjà, engageant ainsi une compétition basée sur la cohérence et le degré de généralité de chacune, et dont le résultat dépendra finalement de leurs capacités respectives d'expliquer les observations existantes et de prédire correctement de nouvelles observations. Chaque théorie de cette sorte constitue une description hautement condensée d'une classe très nombreuse de situations, et doit donc être complétée par la description détaillée de chaque situation particulière pour pouvoir donner lieu à des prédictions spécifiques (Gell-Mann, *ibid.*: 94).

Bien qu'elle penche davantage vers le vérificationnisme que vers le falsificationnisme, cette interprétation de ce que nous préférons appeler

⁸ Ainsi, selon Bunge, les concepts d'onde et de particule seraient des métaphores classiques qui ne peuvent être intégrées à la mécanique quantique – dont les formulations rigoureuses n'utilisent d'ailleurs plus ces concepts (Terré, 1998: 202 *sq.*).

« l'activité scientifique » rejoint la conception évolutionniste proposée par Popper (1997: 13-47) qui décompose cette activité en quatre niveaux successifs: (a) l'ancien problème; (b) la formation de théories à l'essai; (c) les essais d'élimination par discussion critique, y compris par test expérimental; (d) les nouveaux problèmes qui émergent de la discussion critique précédente (*op. cit.*: 32). L'« ancien problème » de Popper s'apparente à une modification de l'environnement incitant une espèce vivante à s'adapter; cette adaptation se fait par un processus d'essais et erreurs sous-tendu par le va-et-vient dialectique entre théories et observations que mentionnent identiquement Gell-Mann et Popper, et cette dialectique débouche sur la sélection de la théorie provisoirement la plus satisfaisante parmi celles en compétition (la plus explicative et prédictive selon Gell-Mann, la plus audacieuse selon Popper). Dans la conception de ce dernier, ce vainqueur provisoire suscite lui-même de « nouveaux problèmes » qui seront les « anciens problèmes » d'un nouveau cycle en quatre niveaux.

Cette commune vision évolutionniste de l'activité scientifique n'est cependant pas exclusive de profondes divergences entre les interprétations de nos deux auteurs: outre l'alternative vérificationnisme *versus* falsificationnisme déjà évoquée, le schéma de Gell-Mann semble se cantonner au niveau strictement individuel des processus cognitifs impliqués par l'activité du scientifique *lambda*, alors que l'évocation d'une « discussion critique » lors des « essais d'élimination » poppériens implique l'existence d'interactions entre scientifiques attachés à résoudre un problème donné. On sait que Popper ne s'est lui-même guère intéressé à la réalité vive et concrète de cet aspect de l'activité scientifique, dont il s'est contenté de poser la nécessité épistémologique de principe – allant même jusqu'à faire de l'émergence de la discussion critique dans la Grèce présocratique de la génération Thalès la condition de possibilité de la science moderne (Popper, 1985: 206-250). On sait également qu'il revint à Kuhn (1972) de faire plus explicitement le lien entre dimension cognitive et dimension sociale de l'activité scientifique, notamment à travers son fameux concept de paradigme – et Callon et Latour purent ainsi s'écrier « Enfin Thomas Kuhn vint » (1991: 17).

La conception de Gell-Mann semble réductrice par rapport à celle de Popper, au sens où cette dernière a le mérite d'évoquer, fût-ce allusivement, une dimension sociale de l'activité scientifique totalement absente de la précédente. Mais, Gell-Mann explicite bien plus précisément que ne l'a jamais fait Popper les différentes opérations cognitives inhérentes à cette activité: là où Popper se contente de mentionner très globalement un processus d'essais et erreurs qui serait au cœur de son schéma à quatre

niveaux, Gell-Mann convoque les notions d'obtention d'information, d'identification de régularités parmi ces informations, de condensation de ces régularités en modèles ou théories, avant de rejoindre Popper sur le thème de la compétition entre ces modèles ou théories lors de leur confrontation au « monde réel » et de l'enrichissement en informations supplémentaires résultant de cette confrontation.

Il semble qu'une approche sociocognitive de l'évolution scientifique doive s'appuyer, en l'approfondissant considérablement, sur la vision cognitiviste proposée par Gell-Mann, tout en développant l'amorce de dimension sociétale suggérée par Popper et mieux exploitée par Kuhn. Une telle approche répondrait en tout cas à l'appel lancé par Barberousse *et al.* (2000: 175-198), selon lesquels les traditions normatives (*i.e.* la philosophie des sciences) et descriptives (*i.e.* les études sociales des sciences) « peuvent, et même doivent, converger » (*ibid.*: 175). Car, s'il est évident que l'activité scientifique se trouve insérée dans un contexte social et historique, il est non moins certain qu'il s'agit là d'une activité cognitive des êtres humains: « Faire de la science, cela suppose au moins observer des phénomènes, essayer de les expliquer, agir en construisant des dispositifs expérimentaux pour tester ces explications, communiquer les conclusions à d'autres membres d'une communauté » (*ibid.*: 175-176). La convergence entre traditions normatives et descriptives est donc bien définie ici comme l'analyse unifiée de capacités cognitives et d'interactions sociales: d'un côté, capacité à extraire de l'information d'un environnement, à inférer certaines conséquences d'un fait observé, à agir sur le monde, à construire des outils multipliant le pouvoir des sens; de l'autre, capacité à transmettre à autrui certaines propositions au travers de la communication (*ibid.*: 176). À un élément près – la notion de condensation des régularités identifiées dans l'environnement –, nous retrouvons ainsi exactement les opérations cognitives mises en avant par Gell-Mann. Quant à la « discussion critique » évoquée par Popper, elle prend ici une forme plus opératoire en convoquant la notion de communication.

C'est très précisément dans cette perspective que se situe la présente contribution, que nous voudrions exemplaire de l'orientation non réductionniste en philosophie de l'esprit prônée par Berthelot (2000) plaidant pour un programme vers lequel peut tendre la sociologie de la science. Ce programme consiste à « penser la science comme étant à la fois une activité sociale (inscrite dans le social au même titre que l'intentionnalité dans le cerveau) *et* une activité de connaissance (*id. est* une activité de production d'énoncés et de théories justifiables) » [*ibid.*: 233, italiques de l'auteur]. Notre

contribution est centrée sur le rôle des opérations mentales impliquées par l'analogie et l'impact de cette dernière sur l'évolution scientifique, et elle semble mettre ainsi davantage l'accent sur le volet cognitiviste d'un tel programme que sur son volet sociologique. Cependant, l'inextricable complémentarité de ces deux volets y apparaîtra clairement, tant il est évident que l'on ne pense jamais seul et que l'on communique parfois avec soi-même.

Dans la prochaine section, nous présenterons un modèle de réseau (plutôt que de système) complexe dans lequel les acteurs individuels sont saisis sous le seul angle de leurs opérations cognitives, elles-mêmes replacées dans les déterminations et les prolongements qui constituent leur environnement naturel et social. Nous verrons ainsi que l'évolution de ce réseau, lorsqu'elle résulte de la seule communication entre ces acteurs, le mène inéluctablement vers une forme de mort entropique. Dans la section suivante, nous montrerons que ce modèle nous permet de penser l'analogie comme vecteur d'une nouveauté faible et d'une nouveauté radicale en matière de représentations. En tant que vecteur de nouveauté radicale, l'analogie se révélera alors constituer l'un des moyens de différer indéfiniment la mort entropique du réseau considéré.

2. Réseaux complexes et évolution des représentations

Nous résumerons d'abord les *fondements conceptuels* de notre analyse. Ces fondements se trouvent aussi bien dans certaines théories de l'information et de la communication que dans une théorie de l'auto-organisation des systèmes naturellement complexes, elle-même fortement ancrée dans une conception récente du fonctionnement de la mémoire et de la cognition humaines. Nous présenterons ensuite un exemple de *réseau complexe* permettant de formaliser de manière simple, mais suffisamment efficace, les principales opérations cognitives et sociales effectuées par les systèmes à la Gell-Mann évoqués plus haut.

2.1. Fondements conceptuels de l'analyse

2.1.1. Deux approches théoriques de la communication, de l'information et de l'apprentissage

Considérons une société d'acteurs individuels saisis sous l'angle de leurs opérations cognitives, elles-mêmes replacées dans les déterminations et les

prolongements qui constituent leur environnement naturel et social. Ces opérations s'inscrivent dans un registre intra-individuel (cognitif) aussi bien qu'extra-individuel (communications sociales, interactions avec l'environnement naturel), et leur analyse implique immédiatement celle des concepts d'information et d'apprentissage. Communication, information et apprentissage: il existe quantité d'approches de ces trois concepts liés, que nous pouvons ordonner ici autour de deux grandes familles de modèles: d'une part, ceux issus de la théorie mathématique de la communication développée à partir du modèle fondateur de Shannon (Weaver et Shannon, 1975) et, d'autre part, ceux qui s'inscrivent dans le sillage de la théorie de la communication sociale initiée par les travaux pionniers de Bateson (1977, 1980, 1984, 1996). Il serait trop long de développer ici les multiples divergences entre ces deux types d'approches, respectivement qualifiées de « communication télégraphique » et de « communication orchestrale » par Winkin (1981, 1996). Nous nous contenterons donc de résumer leurs principaux points de désaccord en les rassemblant, fût-ce de manière abrupte, autour de trois ensembles de notions.

D'abord, la conception shannonienne limite la communication à sa forme verbale et volontaire, et pose l'information comme une substance dont l'émission, la transmission et la réception s'effectuent le long d'un canal linéaire (sans retour) en obéissant à des lois additives. Au contraire, la vision batesonienne envisage la communication iconique et kinésique aussi bien que verbale, volontaire ou non, et conçoit l'information comme une forme parcourant des canaux circulaires en obéissant à des lois de nature combinatoire. Ensuite, la visée shannonienne est celle du codage le plus efficace (le moins coûteux en symboles codeurs) d'un message dont la signification lui est totalement indifférente, pourvu que la transmission de ce message soit assurée à l'identique entre un émetteur et un récepteur traités comme deux pôles parfaitement symétriques dans une analyse quantitative de la communication. Elle tranche ainsi avec la perspective purement qualitative de la construction batesonienne, qui traite d'une information-différence véhiculant des significations diverses selon les récepteurs impliqués et privilégie ainsi le pôle de la réception par rapport à celui de l'émission lors de la communication. Enfin, la conception shannonienne réduit l'apprentissage à un simple empilement de symboles chez le récepteur, sans filtrage préalable ni restructuration des croyances de ce dernier (traité comme un émetteur inversé), alors que la vision batesonienne analyse des processus d'apprentissages hiérarchisés en différentes catégories.

Bateson distingue notamment trois niveaux d'apprentissage: un apprentissage de *niveau 1* (ou apprentissage primaire) consiste en la réception d'un *stimulus* véhiculant une information qui tranche sur une attente préalable dans un cadre conceptuel donné (une différence reçue), et donne lieu à une réponse qui tranche sur celles fournies précédemment par l'entité cognitive concernée (une différence émise), tout en restant dans un ensemble *donné* de possibilités (un cadre conceptuel donné); un apprentissage de *niveau 2* (ou apprentissage secondaire) consiste en l'installation ou le renforcement du cadre conceptuel de l'entité et de l'ensemble de possibilités de réponses que renferme ce cadre, suite à une séquence d'apprentissages de niveau 1: si celui-ci consiste à apprendre, celui-là consiste à apprendre à apprendre en installant ou en renforçant un filtrage préalable de l'information véhiculée par le précédent; quant à l'apprentissage de *niveau 3*, il mène l'entité concernée à changer son cadre conceptuel de réception des *stimuli*, et modifie simultanément l'ensemble de ses possibilités de réponses consécutives à de nouveaux *stimuli* relevant du niveau 1 d'apprentissage – il consiste donc en une restructuration des croyances de l'entité considérée.

Nous sommes ainsi en présence de deux approches très différentes de la communication, dont la première, en parvenant à une expression quantitative dont on sait les développements technologiques, remplit parfaitement sa fonction de fondement théorique à une amélioration désirée du rendement de lignes télégraphiques de la *Bell Telephone*, mais est manifestement inapte à rendre compte de la richesse des phénomènes liés à la communication sociale, tandis que la seconde incorpore cette richesse dans son projet même, mais demeure purement qualitative⁹.

2.1.2. Une amorce de synthèse entre ces deux approches théoriques

Ces deux approches de la communication, de l'information et de l'apprentissage fournissent des ingrédients à la théorie de l'auto-organisation développée par Atlan (1972, 1979, 1991, 1999). D'une part, cette théorie

⁹ Shannon lui-même était parfaitement conscient des dérives possibles liées à l'utilisation de sa théorie dans d'autres champs que le domaine étroitement technique pour lequel il l'avait élaborée. Il insistait notamment sur le fait qu'elle n'avait aucunement vocation à traiter des problèmes sémantiques (cf. Dion, 1997: 26). Notons que ces déviations sont inaugurées par Weaver lui-même, dans son introduction au volume rassemblant les deux articles fondateurs de Shannon (Weaver et Shannon, 1975: 31-62).

réintroduit des effets de sens dans le modèle shannonien, dont elle conserve le formalisme en l'étendant à une approche informationnelle de l'organisation biologique. D'autre part, elle rejoint étroitement l'analyse du fonctionnement de la mémoire humaine tel que le conçoit Rosenfield (1989, 1990) sur la base des travaux de Edelman (1992), alors même que cette conception offre des fondements neurobiologiques à la hiérarchisation batesonienne des catégories de l'apprentissage. Tel qu'il est décrit par Rosenfield, le fonctionnement de la mémoire humaine¹⁰ présente en effet trois caractéristiques majeures. Premièrement, il comporte un processus d'apprentissage non dirigé, au sens où cet apprentissage ne résulte nullement d'un programme préétabli dans la mémoire humaine ou dans l'environnement naturel ou social de cette mémoire. Deuxièmement, la cause efficiente de cet apprentissage réside en la rencontre aléatoire du système de la mémoire et de certains facteurs de bruit en provenance de son environnement. Troisièmement, le produit de cet apprentissage consiste en une succession de catégories psychologiques toujours plus fines ou différenciées, dont la liste et le mode de construction sont susceptibles d'être remis en cause à n'importe quelle étape du processus (Ancori, 1992).

L'interprétation du fonctionnement de la mémoire humaine par Rosenfield prête donc à cette dernière les capacités qui sont celles d'un système auto-organisateur au sens de Atlan. Montrons à présent que cette approche atlano-rozenfeldienne rejoint la vision batesonienne de l'apprentissage. Selon Atlan, l'organisation biologique est caractérisée par un type de complexité, dite *naturelle*, différente de la complexité *algorithmique* qui est celle, par exemple, d'un programme d'ordinateur. En effet, la complexité naturelle caractérise des systèmes non construits (ni constructibles) par un sujet humain, de sorte que si chacun peut reconnaître un ordre dans ces systèmes, personne ne peut prétendre connaître le détail ultime de leur structure ni de leur fonctionnement. Les systèmes biologiques en sont de bons exemples, mais aussi les systèmes sociaux: au contraire des systèmes algorithmiquement complexes dont la finalité est définie par l'observateur lui-même, leur finalité (s'ils en ont une) est inconnue de l'observateur, et fait donc partie intégrante du programme de recherches de ce dernier. De tels

¹⁰ Donc aussi le fonctionnement de notre cognition, si l'on accepte que « le concept de mémoire est plus fondamental que celui de cognition, celle-ci pouvant être définie comme une propriété émergente d'un système à mémoire » (Tiberghien, 1997: 13), position que nous faisons nôtre dans le présent texte.

systèmes constituent une sorte de compromis entre ceux dont la structure très redondante rend hautement prévisibles les formes qu'ils sont susceptibles de construire – tels les cristaux – et ceux dont la structure est si peu redondante qu'il est extrêmement difficile (voire impossible) pour l'observateur d'identifier le processus de construction de leurs formes, donc de prévoir celles-ci – telle la fumée.

Un système naturellement complexe est dit auto-organisateur lorsqu'une perturbation aléatoire en provenance de son environnement a pour effet d'accroître sa complexité (*i.e.* le degré de différenciation de ses sous-systèmes), mesurée par la quantité d'information shannonienne que contient le système global – ou, dualement, de diminuer son degré de redondance. En fait, tout état observé d'un tel système est assimilable à un message implicitement transmis à l'observateur, et peut donc être défini, dans le langage du formalisme shannonien, par la quantité d'information H (ou, dualement, de redondance R) contenue dans ce message¹¹: il suffit pour cela de reconnaître l'analogie entre symboles/distribution de probabilités sur ces symboles/message, d'une part, et sous-systèmes/distribution de probabilité sur ces sous-systèmes/système, d'autre part. Les relations entre symboles d'un message peuvent en principe aller de l'indépendance totale ($R = 0$) à la réplcation parfaite ($R = 1$), mais pour que l'on puisse appliquer ce formalisme à un système *organisé*, ces deux limites doivent être exclues du modèle. Les relations entre éléments d'un système organisé – la structure d'un tel système – sont donc toujours caractérisées par un degré de redondance non nul et strictement inférieur à l'unité. Étant donné un état initial du système caractérisé par H_0 (ou par R_0), et sous l'hypothèse de la survenue d'un bruit provenant de son environnement et venant aléatoirement le perturber, ce système s'auto-organisera si son état suivant peut être

¹¹ La quantité shannonienne d'information H se définit ainsi: soit un répertoire de n symboles indépendants, de probabilités respectives $p(i)$; alors $H = - \sum_i p(i) \cdot \log_2 p(i)$. Il s'agit d'une quantité *moyenne* d'information par symbole: si le message comporte m symboles, sa quantité totale d'information est égale à $m \cdot H$. Lorsque les n symboles sont équiprobables ($p(i) = 1/n, \forall i$), la fonction H atteint son maximum, égal à $\log_2 n$. Quant au degré de redondance du message, il s'écrit $R = 1 - (H_R/H_{\max})$, où H_R désigne la quantité d'information par symbole d'un message dont le degré de redondance est R , et où H_{\max} est la quantité d'information par symbole d'un message absolument non redondant, écrit dans le même répertoire. La redondance du message traduit l'interdépendance des symboles du répertoire, et $H_R \leq H_{\max}$. Il est alors immédiat que $0 \leq R \leq 1$.

caractérisé par $H_1 > H_0$ (ou par $R_1 < R_0$). Ce processus d'auto-organisation se traduit donc par une destruction de redondance synonyme de création d'information – ce pourquoi il requiert, dans chaque état donné du système, et en particulier dans son état initial, l'existence d'une redondance suffisante pour pouvoir se dérouler. Tant que tel est le cas, c'est-à-dire tant que $dH/dt > 0$, le système est dit fiable. Au-delà de cette période de fiabilité, les mêmes facteurs de bruit inversent le processus, en créant de la redondance par destruction d'information, et $dH/dt < 0$ ¹².

Ce type d'évolution revêt des significations diamétralement opposées selon que l'on se place du point de vue du système lui-même, ou de celui de l'observateur extérieur à ce dernier. Du point de vue du système lui-même, la différenciation des éléments s'interprète de la même manière qu'une *perte* d'information qui serait due à un bruit survenant sur une voie de communication lors de la transmission d'un message dans un cadre strictement shannonien: l'effet de ce bruit se marque ici par la différence entre le message émis par la source (codé en signaux transmis par l'émetteur) et le message perçu par le destinataire (après son décodage au pôle du récepteur), et le théorème 11 de Shannon (Weaver et Shannon, 1975: 115-122) montre qu'il existe une méthode de codage propre à annihiler cet effet négatif. En d'autres termes, une telle méthode permet d'annuler la perte d'information due au bruit, mais en aucun cas de créer de l'information – au sens où le message reçu en contiendrait une quantité supérieure à celle du message émis¹³. Du point de vue du système lui-même, l'effet du bruit est donc nécessairement négatif. Mais de celui de l'observateur de ce système, c'est exactement l'inverse: ici la différence entre un message émis (x) et un message reçu (y), identifiée à celle qui existerait entre deux sous-systèmes (x) et (y) observés successivement, est créatrice d'information, au sens où l'observateur reçoit une quantité d'information supplémentaire, égale à

¹² À partir de la formule définissant la redondance, il vient: $dH/dt = -H_{\max} \cdot dR/dt + (1 - R) \cdot dH_{\max}/dt$. Le premier terme du membre de droite sera positif si $dR/dt < 0$, et le second sera négatif si $dH_{\max}/dt < 0$. Selon Atlan (1972: 264-270; 1979: 49-50), il en va bien ainsi dans les systèmes biologiques, de sorte que $dH/dt > 0$ si et seulement si le premier terme est supérieur à la valeur absolue du second, et $dH/dt < 0$ dans le cas inverse.

¹³ D'où la pertinence de la question de Ruyer (1954): d'où vient l'information? Notre réponse à cette question sera totalement étrangère au mysticisme affleurant dès 1954 dans la réponse de Ruyer et amplifié ensuite dans Ruyer (1977). Pour une critique de l'usage de la métaphore dans ce dernier ouvrage, voir Terré (1998: 226-232).

l'ambiguïté shannonienne $H(y/x)$, lorsqu'il observe le second sous-système après avoir observé le premier. De ce point de vue, l'ambiguïté correspond à un *gain* d'information, de sorte que le rôle du bruit est positif – ce pourquoi Atlan le qualifie de bruit organisationnel.¹⁴

Bien que l'ensemble de ces caractéristiques émerge d'une théorie atlanienne exprimée dans le formalisme shannonien, il est possible d'y reconnaître les différentes catégories d'apprentissage que Bateson nous a appris à distinguer. En effet, la rencontre aléatoire du système et de son environnement (en termes rosenfeldiens: la perception d'un *stimulus* sensoriel aléatoire par l'organisme humain) provoque un apprentissage de niveau 1, qui se manifeste par « un *changement dans la spécificité de la réponse* [à un *stimulus* donné], à travers une correction des erreurs de choix à l'intérieur d'un ensemble [donné] de possibilités » (Bateson, 1977: 266, italiques de l'auteur)¹⁵. Mais ce processus d'apprentissage se prolonge en un va-et-vient entre des patterns créés et projetés sur ces *stimuli* aléatoires, puis modifiés par cette projection dans la mesure où patterns et *stimuli* ne coïncident pas exactement. Cet apprentissage s'apparente ainsi à la réalisation d'un processus d'essais et erreurs à l'intérieur d'un ensemble de possibilités qui peut, lui-même, s'en trouver modifié¹⁶. En d'autres termes, l'apprentissage

¹⁴ L'interprétation atlanienne de la quantité d'information shannonienne H est identique à celle proposée naguère par Brillouin (1959): mesure de la complexité *structurale* du système considéré, cette quantité représente « l'information qu'on ne possède pas et dont on aurait besoin pour spécifier le système en ses détails » (Atlan, 1979: 76). En d'autres termes, H est la quantité d'information qui *manque* à l'observateur à propos du système observé. De sorte qu'en reflétant la complexité *fonctionnelle* de ce système, l'augmentation de H par un processus d'auto-organisation traduit un accroissement de la *méconnaissance* de celui-ci de la part de l'observateur. Par contre, du point de vue du système observé, la différenciation accrue signifiée par cette augmentation traduit la meilleure connaissance que le système a de lui-même après sa perturbation par un bruit organisationnel.

¹⁵ C'est de ce niveau d'apprentissage que relève l'apprentissage bayésien, puisqu'il consiste simplement en l'actualisation d'une distribution de probabilités à la lumière de données nouvelles, dans un cadre donné et constant de référence. Ainsi que le souligne en particulier Marengo, la prise de décision bayésienne réduit l'incertitude au simple risque (1995: 8).

¹⁶ Cf. Atlan: « les patterns, une fois créés, sont comparés avec les nouveaux stimuli ou, plus exactement, sont projetés et appliqués sur eux. Dans la mesure où patterns et nouveaux stimuli peuvent coïncider, on dit qu'on « reconnaît » de nouveaux patterns dans l'environnement. Mais, dans la mesure où ils sont vraiment nouveaux, cette coïncidence ne

atlanien recouvre les niveaux 1 et 2 de l'apprentissage batesonien: l'ensemble des patterns existant dans le système cognitif de l'entité considérée constitue le contexte cognitif de cette dernière, c'est-à-dire le cadre conceptuel dans lequel sont accueillis de nouveaux *stimuli* aussi bien que l'ensemble de possibilités de réponses à ceux-ci (apprentissage 1); et l'approximative coïncidence entre *stimuli* et contexte cognitif rejaillit sur ce dernier en le modifiant (apprentissage 2). Au niveau de l'apprentissage 2, le contexte cognitif de l'entité considérée n'est donc plus une donnée de l'analyse, comme c'est le cas dans l'apprentissage de niveau 1, mais une variable dont il s'agit d'analyser le mode de construction. Il reste alors à examiner les déterminations par lesquelles le mode même de construction de pareil contexte cognitif peut être remis en cause par un apprentissage de niveau 3, correspondant à un changement dans le processus d'apprentissage de niveau 2.

La conception rosenfieldienne de la mémoire humaine permet précisément d'aborder ce dernier point, en incorporant pleinement ces trois catégories d'apprentissage, et ceci de manière plus explicite que ne le fait la conception atlanienne de l'auto-organisation. Sur la base de la théorie du « darwinisme neuronal » de Edelman (1992), cette conception montre en effet que les cartes cérébrales rassemblant plusieurs groupes neuronaux sont capables non seulement de catégoriser les *stimuli* inorganisés provenant de notre environnement, mais aussi – leur cartographie n'étant pas immuable – de *modifier leur mode même de catégorisation* (Rosenfield, 1989: 167 *sq.*)¹⁷. Cette conception des performances réalisables par le type particulier de système auto-organisateur que constitue un système cognitif humain fournit ainsi des fondements neurobiologiques à ce que Bateson appelle l'apprentissage de

peut être qu'approximative. Il y a là une ambiguïté dans cette application, dans cette projection de ces patterns sur les nouveaux stimuli, et cette ambiguïté elle-même a alors un rôle positif dans la mesure où elle entraîne une action en retour sur les patterns eux-mêmes, c'est-à-dire une modification des patterns initiaux. Ceux-ci, modifiés, vont ensuite être projetés à nouveau sur les nouveaux stimuli, et ainsi de suite » (1979: 146, italiques de l'auteur).

¹⁷ Le concept psychologique de « catégorie » utilisé par Rosenfield joue très exactement le même rôle que celui de « pattern » employé par Atlan (cf. la note précédente). Catégories et patterns permettent de rassembler des *stimuli* (en eux-mêmes nullement organisés d'emblée en éléments cohérents d'information) en classes d'équivalence déterminées par les analogies et différences perçues entre ces *stimuli* par le système cognitif considéré, eu égard à l'intentionnalité de ce dernier.

niveau 2 et l'apprentissage de niveau 3. Le fondement neurobiologique de l'apprentissage batesonien réside, en effet, en la création d'un répertoire secondaire issu de la « sélection » de variantes particulières parmi une population de groupes neuronaux distincts dont le schéma d'organisation a été fixé dès le stade embryonnaire. Cette sélection est opérée après la naissance par les *stimuli* en provenance de notre environnement: au gré des hasards présidant aux rencontres de ces *stimuli* avec certaines zones synaptiques et non avec d'autres, les premières se voient privilégiées au détriment des secondes (Rosenfield, 1989: 166). La forme globale de notre « câblage cérébral » étant dessinée dès le stade embryonnaire, l'intensité de ses connexions se voit donc modulée après la naissance de manière partiellement aléatoire.

Traduisant sur le plan psychologique ce renforcement privilégié de certaines jonctions synaptiques, l'apprentissage secondaire constitue l'une des modalités d'acquisition d'habitudes aperceptives par le sujet, modalité qui peut être poussée au point de ne plus être consciente de la part de ce dernier. Bateson ne cessait d'insister sur l'importance du processus qui voit la connaissance (ou l'habitude d'action, de perception, de pensée) s'enfoncer à des niveaux de plus en plus profonds de l'esprit. Tout se passe en effet comme si l'organisme était poussé à refouler toujours davantage « les aspects généraux des relations, qui restent toujours valables, et à garder au niveau conscient la pragmatique impliquée par tel ou tel moment » (1977: 153). Bref, *plus nous connaissons quelque chose, moins nous sommes conscients de cette connaissance*. L'avantage lié à ce type de processus cognitif se manifeste le plus clairement lorsque celui-ci atteint sa limite en débouchant sur l'*ancrage* d'une habitude mentale: l'entité cognitive concernée peut alors traiter sur un mode purement réflexe la classe d'informations correspondant à l'apprentissage de niveau 1. L'algorithme de traitement de ces informations, qui mène cette entité cognitive à leur apporter une réponse efficace, n'ayant plus à être consciemment actionné, le travail conscient de cette entité en est soulagé d'autant, ce qui lui permet de traiter de manière réfléchie d'autres informations correspondant à d'autres apprentissages de niveau 1¹⁸. Néanmoins,

¹⁸ Les déroulements respectifs des apprentissages de niveaux 2 et 3 diffèrent sur un point fondamental: alors que l'apprentissage secondaire débouche sur l'ancrage d'une habitude mentale là où il est supposé qu'il n'existait rien de tel auparavant, la réalisation d'un apprentissage de niveau 3 signifie qu'une habitude mentale supposée ancrée est remise en question pour être remplacée par une autre, jugée plus efficace au vu des modifications survenues dans les conditions de l'environnement. Il est raisonnable de

une telle habitude doit pouvoir évoluer lorsque les conditions de l'environnement changent d'une manière qui la rend désormais inefficace: elle doit alors se révéler dynamique, car dans le cas inverse elle deviendrait l'une de ces « routines défensives qui limitent l'apprentissage » (Argyris, 1995: 29-84). En d'autres termes, au-delà d'un apprentissage en « simple boucle », qui consisterait à modifier un acte sans toucher au « programme-maître » qui a servi à le produire, cette dynamique doit consister en un changement de ce « programme maître » lui-même – elle doit réaliser un apprentissage en « double boucle » (Argyris et Schön, 1974; Argyris, 1995: 67). Cet apprentissage en « double boucle » s'identifie précisément à un apprentissage batesonien de niveau 3, c'est-à-dire à un « changement correcteur dans le système des *ensembles* de possibilités dans lequel s'effectue le choix » (Bateson, 1977: 266, italiques de l'auteur). La conception rosenfieldienne offre un fondement neurobiologique à ce type d'apprentissage en analysant les changements *dans la manière même* dont les cartes cérébrales catégorisent les *stimuli* inorganisés provenant de l'environnement d'un système cognitif animal ou humain.

Les processus cognitifs à l'œuvre dans ces différentes catégories d'apprentissage se révèlent ainsi très proches de ceux d'un système adaptatif complexe, tels que les décrivent Gell-Mann (1995) ou Barberousse *et al.* (2000): pour un acteur cognitif individuel, obtenir de l'information à propos de son environnement et de ses interactions avec celui-ci est réaliser un apprentissage de niveau 1; identifier des régularités dans cette information et condenser ces régularités en formulant des modèles (ou des théories

penser que tout système cognitif résiste moins à l'ancrage d'une habitude ou d'une routine là où il n'en existait pas auparavant qu'au remplacement d'une habitude ou routine déjà ancrée par une autre: dans le premier cas, les conditions de l'environnement étant données, un tel ancrage est synonyme de *gains nets et immédiats* en termes d'économie cognitive, alors que dans le second ce remplacement est certes synonyme de gains (l'habitude nouvelle apparaissant mieux adaptée que l'ancienne aux nouvelles conditions de l'environnement), mais aussi de *coûts* liés à l'abandon de l'habitude précédente – et les coûts *précèdent* ici les gains. Bateson était parfaitement conscient de la nature fondamentalement *économique* d'un tel comportement routinier: « le phénomène de l'habitude est d'ordre économique. Si l'expérience répétée d'un contexte donné indique qu'un certain type de réponse est régulièrement efficace, cette réponse devient habituelle, avec pour résultat une économie du processus mental. [...] Le phénomène d'habitude est un raccourci économique pour l'adaptation. Il libère les parties les plus souples de l'esprit pour résoudre d'autres problèmes; ce sont, si vous voulez, les organes du comportement adaptatif » (1996: 153).

scientifiques), afin d'agir dans le monde réel sur la base de ces modèles (ou théories), est réaliser un apprentissage de niveau 2; et l'influence rétroactive de cette action sur les différents modèles (ou théories) en compétition peut déboucher sur un apprentissage de niveau 3¹⁹. Approfondissons cette analyse en proposant un modèle de réseau complexe qui intègre l'ensemble de ces aspects de l'évolution scientifique.

2.2. Structure et fonctionnement d'un réseau complexe

Considérons un système concret dont les éléments sont des acteurs cognitifs individuels, et dont la structure est celle des communications possibles ou effectivement établies par ces acteurs – entre eux, aussi bien qu'avec leur environnement naturel (le « monde réel » de Gell-Mann). Par définition, ce système concret n'est ni construit, ni constructible, par un homme particulier, de sorte que sa finalité propre (s'il en a une) nous demeure en principe inconnue. Il relève donc de la complexité naturelle au sens de Atlan. Dans la mesure où ce système est celui de la société tout entière, sans doute vaut-il mieux parler de *réseau* que de *système* complexe. En effet, au-delà d'une absence de finalité explicite ou d'une ignorance de notre part quant à la nature exacte de cette finalité, nous devons vraisemblablement renoncer dans ce cas à la notion même de finalité, alors qu'elle constitue l'une des cinq caractéristiques dont la congruence définit le concept de système (Le Moigne, 1994a: 62). Par contre, si nous créditons chaque acteur individuel d'une finalité adaptative réduite à sa plus simple expression – au sens où « être adapté » veut simplement dire « être vivant » –, nous pouvons amorcer une représentation formelle du réseau social tissé par ces acteurs considérés eux-mêmes comme autant de systèmes adaptatifs complexes.

Chaque état du réseau complexe ainsi entendu est ici représenté par une matrice dont les vecteurs-lignes figurent autant d'acteurs individuels et les vecteurs-colonnes des combinaisons de catégories élémentaires au moyen desquelles chacun de ces acteurs *se représente* en le découpant son environnement naturel et social. Pour chaque acteur donné, et dans chaque état

¹⁹ Il est clair que la réalisation d'un apprentissage batesonien de niveau 2 correspond à la formation d'un paradigme kuhnien, dans le cadre duquel les scientifiques effectueront des apprentissages batesoniens de niveau 1, alors qu'un apprentissage batesonien de niveau 3 correspond à un changement de paradigme au sens de Kuhn (1972).

donné du réseau, ce découpage s'opère à un niveau d'*agraindissement* donné²⁰, qui ignore les niveaux plus fins. Convenons que ce niveau est, pour chaque acteur observé, le plus fin que ce dernier est actuellement en mesure d'obtenir, étant entendu que ce niveau est variable selon les acteurs dans un état donné du réseau, et pour un acteur donné lors de l'évolution de ce même réseau. Dans ces conditions, lorsque les représentations d'un acteur A_i donné contiennent une catégorie élémentaire donnée C_j , le coefficient $[a_{ij}]$ de la matrice est un « 1 » – et, évidemment, un « 0 » dans le cas inverse. Dans chaque état du réseau, le répertoire cognitif individuel de chaque acteur consiste alors en l'ensemble des combinaisons de catégories élémentaires associées à un « 1 », et l'union de tous ces répertoires individuels constitue la « mémoire » globale du réseau. Le cardinal de cet ensemble-union mesure le volume de cette mémoire globale, alors que la répartition des « 1 » dans la matrice en indique la structure²¹.

Donnons un exemple simple d'une telle représentation, en limitant notre réseau à deux acteurs, A_i et A_k , et le nombre total de catégories élémentaires à cinq, C_j ($j = 1, \dots, 5$) à la date initiale t_0 . La matrice booléenne correspondante se présente comme suit:

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_i	1	0	1	0	1
A_k	0	1	1	1	0

Les répertoires individuels S_i et S_k des acteurs A_i et A_k comportent chacun trois catégories élémentaires, dont l'une leur est commune, les deux

²⁰ Ce concept d'*agraindissement* est emprunté par la physique à la photographie: par analogie avec le grain d'une photographie qui définit une limite à la quantité d'information qu'elle peut fournir, un découpage à « très gros grain » donne une impression sommaire de l'objet observé, correspondant à un « très fort *agraindissement* » (cf. Gell-Mann, 1995: 47).

²¹ Dans l'ensemble de ce texte, nous utiliserons l'expression « répertoire cognitif individuel », et non « mémoire individuelle », pour bien souligner que nous traiterons de l'ensemble des actualisations *possibles* de ces mémoires, et non des actualisations *effectives* de ces dernières. Ces actualisations effectives consistent en l'activation de séquences ordonnées de certaines combinaisons obtenues à partir du répertoire, avec possibilité de répéter ces combinaisons dans chaque séquence de ce type, à la manière exacte dont un message concret, écrit dans une langue naturelle telle que le français, utilise habituellement une partie seulement du répertoire composé des 26 lettres de l'alphabet latin.

autres étant idiosyncratiques. Ces répertoires sont représentables respectivement par les ensembles $\mathcal{P}(S_i)$ et $\mathcal{P}(S_k)$ contenant chacun 2^3 parties. Quant à la mémoire globale du réseau, elle est représentable ici par l'ensemble-union $S = \mathcal{P}(S_i) \cup \mathcal{P}(S_k)$ contenant 14 parties. Aux yeux de l'observateur, chaque coefficient de la matrice ci-dessus peut prendre l'une de deux valeurs possibles, 0 ou 1, avec la même probabilité, égale à $1/2$, et apporte donc 1 bit d'information. À la date t_0 , la quantité d'information maximale contenue dans S est donc égale à 16 bits, et la quantité d'information shannonienne (la complexité structurale) de S à 14 bits, de sorte que la redondance globale du réseau est de 12,5 %.

Limitons pour l'instant notre analyse des interactions entre l'acteur individuel et son environnement au cas particulier de la communication sociale. Plus précisément, examinons les caractéristiques générales de la communication entre les acteurs A_i et A_k à la date initiale t_0 . Simultanément présent dans les répertoires cognitifs de ces deux acteurs, le singleton $\{C_3\}$ figure une forme minimale de langage commun entre ces derniers et confère ainsi un caractère *communicable* au message « C_3C_5 » que l'acteur A_i pourrait transmettre à l'acteur A_k durant leur communication (respectivement, « C_2C_3 » de A_k vers A_i). En revanche, l'association *idiosyncratique* de la catégorie C_3 avec d'autres catégories élémentaires dans les répertoires individuels respectifs des acteurs – par exemple, $\{C_1C_3\}$ dans $\mathcal{P}(S_i)$, ou $\{C_2C_3C_4\}$ dans $\mathcal{P}(S_k)$ – rend compte de la dépendance de la *signification* de l'information par rapport au contexte cognitif toujours singulier dans lequel cette information vient s'inscrire.

Le bruit organisationnel, quant à lui, proviendrait de l'autre partie du message, c'est-à-dire de C_2 pour l'acteur A_i et de C_5 pour l'acteur A_k . La réception éventuelle de telles catégories élémentaires provoquerait dans les répertoires individuels impliqués un processus de recombinaison avec celles qui y figurent déjà, et le produit de telles recombinaisons consisterait en l'apparition de nouvelles combinaisons au niveau individuel aussi bien que collectif ²². Montrons-le en supposant cette communication effectivement

²² En fait, la partie des messages « C_2C_3 » et « C_3C_5 » qui est déjà connue des acteurs (c'est-à-dire C_3) est ce qui leur permet de *reconnaître* ces messages, qui leur sont ainsi « audibles », alors que la partie inconnue d'eux (C_2 pour A_i , et C_5 pour A_k) est ce qui leur permet d'*apprendre*, en étant « informative » pour eux. Nous retrouvons ainsi exactement le concept d'apprentissage non dirigé, commun à Atlan (1979: 145-146) et à Rosenfield (1989: 95 *sq.*), en vérifiant au passage le vieux adage selon lequel « connaître est d'abord reconnaître ».

réalisée. Elle mène alors le réseau de l'état initial ci-dessus à un nouvel état (associé à la date t_1) représenté par la matrice suivante:

	C_1	C_2	C_3^2	C_4	C_5
A_i	1	1	1	0	1
A_k	0	1	1	1	1

Chaque répertoire individuel des acteurs A_i et A_k , $\mathcal{P}(S_i)$ et $\mathcal{P}(S_k)$, contient à présent 16 parties. Quant à la mémoire globale du réseau, elle en contient maintenant 24. La quantité maximale d'information de S est égale à 32 bits, alors que sa complexité structurale est égale à 24 bits. En comparaison avec l'état précédent, la quantité d'information shannonienne a donc augmenté de 10 bits – c'est-à-dire que le taux de production d'information²³ est de 71,4 % entre t_0 et t_1 –, alors que la redondance globale de S a doublé entre ces deux dates (elle est passée de 12,5 % à 25 %). Contrairement au modèle atlanien, dans lequel redondance et complexité varient en sens inverse, l'apprentissage de niveau 1 réalisé par nos deux acteurs – ce que nous pouvons appeler la dimension *extensive* de leur apprentissage – s'est donc soldé par une augmentation *simultanée* de la complexité structurale et de la redondance du système S entre les dates t_0 et t_1 .²⁴

²³ Le taux de production d'information est défini par $(H_{t+1} - H_t)/H_t$. Sur l'importance de ce concept pour l'analyse de la complexité fonctionnelle (et non uniquement structurale) des systèmes organisés, ainsi envisagés dans une perspective dynamique (et non uniquement statique), voir Atlan (1972: 210-213).

²⁴ L'explication de cette différence entre les deux modèles est simple: dans le modèle atlanien, l'accroissement de la quantité d'information *effective* du système est dû à une *diminution* de redondance que ne réussit pas à compenser une inéluctable *diminution* de la quantité *maximale* d'information du système (cf. *supra*, note 12), alors qu'ici cette quantité maximale *augmente* en même temps que la redondance qui ne réussit pas à la compenser, de sorte que la quantité d'information *effective* augmente elle aussi. En termes plus imagés, le modèle d'Atlan est celui d'une bibliothèque dont la complexité maximale est mesurée par le nombre de livres différents qu'elle contient, et la redondance par l'ensemble des renvois (citations, etc.) entre ces livres; le bruit organisationnel (par exemple, un incendie) détruit un certain nombre de livres ($dH_{\max}/dt < 0$), mais également certains renvois entre ces derniers ($dR/dt < 0$), et ceci de telle sorte que $dH/dt > 0$. Dans notre modèle, le bruit organisationnel (par exemple, la lecture d'un ouvrage de la bibliothèque, qui incite le lecteur à écrire un nouveau livre renvoyant à ceux qui figuraient déjà dans cette bibliothèque) augmente à la fois le nombre de livres et de renvois entre ces derniers. Cette métaphore nous est suggérée par Atlan (1999).

Soulignons que le caractère *combinatoire* des lois gouvernant ce processus extensif d'apprentissage nous permet de concevoir et de représenter un apprentissage collectif qui ne se réduise pas à la socialisation d'apprentissages individuels par une pure et simple transmission de ces derniers lors d'une séquence de communications. C'est ainsi qu'une combinaison de catégories élémentaires telle que $\{C_2C_5\}$ ou $\{C_2C_3^2C_5\}$, qui figure simultanément dans les répertoires cognitifs des deux acteurs A_i et A_k à la date t_1 , ne figurait dans aucun de ces répertoires à la date t_0 . En d'autres termes, à la date t_1 , tout le monde a formé des représentations que personne n'avait formées à la date t_0 : non seulement la combinatoire de catégories élémentaires permet d'expliquer la création *nette* d'information au niveau de la mémoire *globale* du réseau, mais elle montre qu'une partie de cette création peut être *d'emblée* collective²⁵. Une telle création signe le caractère auto-organisé de ce réseau par l'application d'une qualité émergente au niveau de ce dernier, distincte des qualités présentes à celui de ses éléments.

Par ailleurs, l'apprentissage réalisé entre ces deux dates par les acteurs ne se réduit pas à cette seule dimension extensive: il comporte également une dimension *intensive* qui se traduit analytiquement dans le modèle par le fait que la colonne correspondant précédemment à C_3 est devenue maintenant une colonne C_3^2 . En fait, la répétition de la catégorie élémentaire C_3 dans les répertoires des deux acteurs a amorcé la réalisation d'un apprentissage de niveau 2 au sens de Bateson, formalisé ici par l'exposant 2 dans C_3^2 . Plus généralement, les colonnes de la matrice sont en réalité de type C_i^q dans notre modélisation, avec $1 \leq q < h$, où q est le nombre d'occurrences de la catégorie C_i dans les répertoires des acteurs depuis leur plus lointain passé jusqu'à la date correspondant à l'état actuel du système. Aussi longtemps que ce nombre q reste inférieur à une certaine valeur h , la catégorie correspondante demeure au niveau immédiatement conscient du répertoire concerné, alors que $q \geq h$ signifie que cette catégorie disparaît de ce niveau conscient: une catégorie C_i^q avec $q \geq h$ se situe à un niveau « méta » dans les répertoires cognitifs individuels, au sens où elle contribue à gouverner depuis un niveau non conscient l'organisation même des catégories restées au niveau conscient de ces mêmes répertoires. Par ailleurs, il est clair qu'un acteur dont le répertoire individuel s'est enrichi d'une catégorie C_i^{q+1} (C_3^2 dans notre exemple), et a simultanément perdu la catégorie C_i^q (telle C_3), conserve la capacité de

²⁵ Une autre partie de cette création nette d'information, telle $\{C_1C_2\}$ ou $\{C_4C_5\}$ par exemple, se traduit également au niveau global, mais elle reste purement idiosyncratique en s'inscrivant dans les répertoires cognitifs respectifs de A_i (mais non de A_k) et de A_k (mais non de A_i) à la date t_1 .

communiquer avec tout acteur dont le répertoire contient C_l^q , quelle que soit la valeur de q pourvu que cette valeur soit inférieure à h (à la date t_1 , les acteurs A_l et A_k demeurent capables de communiquer avec tout autre acteur A_l ($l \neq i$ et $l \neq k$) dont le répertoire contiendrait C_3).

Tout en modélisant le processus batesonien de construction et d'ancrage de routines cognitives, cette formulation analytique exprime très exactement la double signification du concept de catégorie, qui recouvre à la fois l'emblème de nos expériences et les moyens par lesquels de tels emblèmes en viennent à être définis (Gil, 1990). La valeur h représente ainsi le point critique auquel une catégorie donnée « saute » du niveau conscient de nos répertoires cognitifs individuels (où elle est un emblème de nos expériences) à un niveau non conscient de ces derniers (où elle contribue à définir de tels emblèmes). Quelle peut être l'interprétation analytique du phénomène de *l'oubli* dans le cadre d'un tel modèle? Nous savons que l'apprentissage de niveau 2 peut déboucher sur une disparition d'une catégorie C_l^q du niveau conscient de ces acteurs, lorsque le nombre d'occurrences de cette catégorie dans les messages reçus par ces derniers atteint une valeur critique $q = h$. Cet enfouissement du *trop connu* dans les replis du *non conscient* semble pouvoir être identifié à une fonction structurante de l'oubli dans tout processus d'apprentissage individuel ou collectif. En effet, *l'oubli apparaît dès lors synonyme d'effacement et d'inscription simultanés d'informations dans les répertoires des acteurs*. C'est ainsi qu'au niveau individuel, l'effacement est d'abord celui d'une catégorie de type C_l^1 au profit de l'inscription simultanée d'une catégorie C_l^2 , elle-même effacée ensuite au profit de l'inscription simultanée d'une catégorie C_l^3 , etc., jusqu'à atteindre une catégorie C_l^{h-1} , dont l'effacement au profit de l'inscription simultanée d'une catégorie C_l^h signifierait que cette dernière rejoint alors le métaniveau sélectionnant au sein des répertoires cognitifs individuels les séquences ordonnées des parties effectivement mobilisées lors de la communication²⁶. Tant que les critères de sélection qui opèrent ce type de choix demeurent invariants, nous avons affaire à une routine cognitive: du point de vue de la réception des messages, cette dernière consiste en une manière donnée (qui peut être non consciente) d'attribuer des significations à ces derniers et, du point de vue de l'émission des messages, elle consiste à sélectionner d'une manière donnée (qui peut être non consciente) les séquences de catégories composant ces derniers. L'éventuelle présence de

²⁶ Pour reprendre notre exemple, c'est ce métaniveau catégoriel qui, à la date t_0 , a déterminé les acteurs A_l et A_k à sélectionner respectivement les messages « C_3C_5 » et « C_2C_3 » parmi l'infinité de messages potentiels contenant les 8 parties figurant à cette même date dans leurs répertoires cognitifs respectifs.

telles routines cognitives à un niveau collectif les apparente aux « mentalités » dont traitent les historiens²⁷ ou aux paradigmes des historiens des sciences. Nous savons par ailleurs que la manière même dont l'acteur individuel interprète les messages reçus et construit les messages émis peut se trouver modifiée, suite à l'accession d'une catégorie de type C_i^{h-1} au métaniveau catégoriel. Chaque modification de ce genre correspond à un apprentissage individuel de niveau 3, qui peut se généraliser en changement d'habitudes mentales collectives. L'observation empirique montre néanmoins que la réalisation de tels apprentissages n'est guère fréquente sur le plan individuel, et encore moins sur le plan collectif. Du point de vue de la cognition individuelle, cette résistance au changement s'explique par deux facteurs: d'abord, par le *caractère paradoxal* de toute routine, d'autant plus efficace en termes d'économie de ressources cognitives qu'elle est profondément ancrée, mais, du même coup, d'autant plus difficile à modifier lorsque les conditions de l'environnement l'exigent, ou simplement la rendent obsolète; ensuite, par le *décalage temporel* existant entre les coûts (immédiats) et les gains (différés) inhérents à tout changement de ce type, dont la rationalité s'apprécie donc à l'aune de l'horizon temporel de l'acteur considéré. Quant aux conditions d'un changement collectif de mentalité, elles supposent non seulement que les deux facteurs précédents soient tels qu'ils ne rendent un tel changement rédhitoire pour aucun des acteurs concernés, mais aussi que soient remplies les exigences mises en évidence par l'analyse des conventions. Car cette analyse montre l'existence d'une prime de *statu quo* attribuée à toute convention établie, à travers la nécessité, pour toute convention concurrente qui voudrait la détrôner, de réunir un nombre suffisamment élevé d'adhérents – de franchir une certaine « barrière de potentiel » (Boyer et Orléan, 1994). En définitive, si l'apprentissage de niveau 3 se révèle empiriquement si difficile à réaliser sur le plan individuel, c'est parce qu'il comporte nécessairement la

²⁷ Certains auteurs ont récemment abandonné le concept de mentalité pour celui de représentation qui, au contraire du précédent opérant de manière massive, prend en compte le côté des récepteurs des messages sociaux – donc la pluralité des significations – et s'articule mieux dans sa relation dialectique avec le concept de « pratique » (Ricœur, 2000: 231-301). Nous conserverons néanmoins l'expression d'« habitudes mentales » pour particulariser les représentations individuelles ou collectives opérant à un niveau non conscient. Remarquons qu'au contraire du niveau individuel, où toute catégorie C_i^q s'efface du répertoire cognitif au moment où s'inscrit une catégorie C_i^{q+1} , la mémoire globale du réseau conserve toute la série des C_i^q , $1 \leq q < h$, figurant dans au moins un répertoire cognitif individuel. Ce qui est une habitude mentale pour un acteur (ou un groupe d'acteurs) peut donc demeurer conscient pour un autre acteur (un autre groupe).

redoutable opération consistant à effacer routines ou habitudes anciennes tout en ancrant simultanément les nouvelles – ce qui revient en somme à *oublier un oubli en le remplaçant par un autre oubli*. Et la difficulté de cette opération est encore accrue au niveau collectif, car elle doit ici être effectuée de manière coordonnée parmi un nombre suffisant d'acteurs. Reste néanmoins le phénomène remarquable selon lequel, sitôt cette opération accomplie, tout se passe comme si routines et habitudes anciennes n'avaient jamais existé (Ancori, 1997: 231-232).

Soulignons que le réseau cognitif ainsi modélisé doit jusqu'à présent être considéré comme *isolé* ou *fermé*, au sens où, pour l'instant, la seule forme d'interaction attribuée aux acteurs cognitifs individuels est celle de la *communication sociale*. Dans ces conditions, la population d'acteurs étant fixée et le nombre initial de leurs catégories élémentaires étant supposé fini et donné, il arrive nécessairement un moment où le jeu de recombinaisons de catégories élémentaires issu de cette forme particulière d'interaction prend fin. Ce moment est celui où l'union des ensembles représentant les répertoires cognitifs individuels coïncide avec l'ensemble des parties de l'ensemble des catégories élémentaires lui-même, cet ensemble figurant alors le modèle mental commun à tous les acteurs. Le réseau a ainsi atteint un équilibre informationnel, caractérisé par le fait que:

$$S = \mathbf{U} \mathcal{P}(S_i) = \mathcal{P}(C_j^3), \text{ avec } [a_{ij}] = 1, \forall i, \forall j.$$

Dans cet équilibre informationnel terminal, il ne subsiste plus aucune différence entre les extensions des répertoires cognitifs respectifs des acteurs individuels, alors même que c'était la rencontre de telles différences lors de la communication sociale qui produisait à la fois l'extension de ces répertoires cognitifs et l'accroissement du volume de la mémoire globale du réseau. En termes de l'exemple ci-dessus, l'équilibre informationnel ainsi défini serait atteint dès lors que l'acteur A_i aurait reçu de A_k un message contenant la catégorie C_4 , et que, réciproquement, l'acteur A_k aurait reçu de A_i un message contenant la catégorie C_1 lors de communications sociales ultérieures à la date t_1 . Un tel équilibre pourrait être atteint dès la date t_2 , si les messages échangés en t_1 étaient, par exemple, « $C_1 C_3^2$ » et « $C_4 C_3^2$ ». En effet, la matrice de catégories élémentaires représentative de l'état du réseau en t_2 serait alors:

	C_1	C_2	C_3^3	C_4	C_5
A_i	1	1	1	1	1
A_k	1	1	1	1	1

Considéré sous le seul angle de l'apprentissage de niveau 1 résultant de la communication sociale, le réseau dégènerait ainsi en une simple duplication d'un répertoire cognitif individuel, et sa quantité d'information shannonienne serait égale à 32 bits, soit en augmentation de 33,33 % seulement par rapport à l'état précédent (alors que de t_0 à t_1 , le taux de production d'information avait été de 71,4 %). Parallèlement, la redondance serait de 50 % à la date t_2 , c'est-à-dire qu'elle aurait doublé depuis la date t_1 , alors qu'elle avait déjà doublé à cette date par rapport à la date t_0 . De manière générale, l'évolution historique du réseau mène de plus en plus rapidement à son terme les processus simultanés d'accroissement de la mémoire globale et d'effacement des différences cognitives interindividuelles amorcés au cours de la période précédente, la vitesse de ce processus étant proportionnelle aux taux de production d'information observés lors des communications successives. Cette évolution conduit inéluctablement le réseau vers un équilibre informationnel terminal dans lequel aucun apprentissage de niveau 1 n'est plus possible. Subsistent alors apparemment des possibilités d'apprentissages de niveaux 2 et 3 au sein du réseau. Mais ces possibilités sont elles-mêmes bornées par le caractère totalement spéculaire de l'apprentissage de niveau 2 – tel celui qui transforme la catégorie C_3^2 en C_3^3 dans l'exemple ci-dessus. Ce caractère spéculaire met en effet un terme à ce type d'apprentissage lorsque tous les sous-ensembles de catégories élémentaires figurant dans la mémoire globale du réseau sont tels que $q = h$ pour tous les acteurs lorsque $S = \mathcal{P}(C_i^h)$.

La matrice des répertoires cognitifs individuels n'est alors plus observable, ni par la suite le réseau lui-même, et non seulement nos acteurs sont devenus des clones parfaits, mais ils sont en outre totalement non conscients de cette triste condition: nous avons alors affaire à de purs automates dotés du même modèle cognitif et répétant inlassablement le même message, identique pour tous car construit exactement selon les mêmes modalités par chacun, et ceci sans qu'ils le sachent. Il est clair qu'aucun apprentissage de niveau 3 ne peut plus se réaliser, dans la mesure où nous savons que ce type d'apprentissage nécessite la confrontation de comportements individuels (de conventions) différents lors de la communication sociale.

Cette forme de *mort entropique* du réseau correspond à une *idéologie* (au sens péjoratif de ce terme, qui a pris le pas sur son sens originel qui désignait simplement un système d'idées): l'ensemble des acteurs adhère sans le savoir à un système de représentations qui ne peut plus être mobilisé par aucun apprentissage (extensif ou intensif), alors même que ces représentations peuvent par définition se révéler fausses, car non justifiées. Ce système de représentation est alors tel que les significations de toutes les combinaisons de catégories élémentaires sont strictement identiques pour tous les acteurs, de sorte que le langage de ces derniers se réduit à un code – telle cette *lingua*

franca dont le rêve ne cesse de hanter l'Occident (Eco, 1994). Bien entendu, sans être totalement impossible, la réalisation concrète de ce genre de situation est hautement improbable – en dépit de fantasmes de type sokalien: dans la réalité concrète de nos sociétés cognitives, les combinaisons de catégories élémentaires données continuent de revêtir des significations différentes pour des acteurs différents, car les répertoires individuels de ces acteurs ne sont jamais strictement identiques (notre matrice booléenne contient toujours au moins un zéro). La validité empirique de cette affirmation est quotidiennement démontrée par l'ambiguïté inhérente à toute communication sociale observable – une ambiguïté heureuse, car productrice d'information, en dépit de toutes les recettes mises sur le marché afin de persuader le chaland que ses communications pourraient atteindre une parfaite transparence.

3. L'analogie, vecteur de nouveautés

Le degré de nouveauté introduit par une analogie peut être plus ou moins prononcé. Lorsqu'elle permet d'actualiser sous forme explicite un savoir déjà potentiellement présent, nous pouvons qualifier ce degré de « faible ». Mais quand l'analogie débouche sur la mise à jour d'un champ de recherche entièrement nouveau, elle nous met manifestement en présence d'une nouveauté radicale. Après avoir résumé l'argument de Soler (2001) montrant que la démonstration par Planck de la formule fondatrice de la physique quantique reposait sur une analogie vecteur de nouveauté faible, nous interpréterons ce type de nouveauté dans le cadre du modèle proposé à la section précédente. Nous analyserons ensuite les potentialités créatrices de l'analogie en tant que vecteur d'une nouveauté radicale dans le cadre de ce même modèle, mais ceci en ouvrant notre réseau sociocognitif à d'autres interactions que les seules communications sociales établies entre agents. Ces derniers sont en effet capables de communiquer avec eux-mêmes comme avec leur environnement naturel et de créer à cette occasion de nouvelles catégories élémentaires sur la base d'analogies vecteurs de nouveauté radicale. Sous certaines conditions, ce type d'analogie se révèle ainsi propre à différer indéfiniment la mort entropique du réseau complexe tissé par les agents cognitifs individuels.

3.1. Analogie et formule de Planck

Selon Miller, le pouvoir créatif de l'analogie est une fonction croissante de la dissemblance (de la tension) entre sujet secondaire (concept-source) et sujet primaire (concept-cible), et « les métaphores pour lesquelles la tension est maximale font entrer en jeu du raisonnement non propositionnel, c'est-à-dire

non logique, qui repose souvent sur l'imagerie visuelle » (2000: 222). Présentons un exemple d'analogie faisant intervenir une tension non maximale (*i.e.* utilisant un raisonnement propositionnel) afin d'interpréter le degré de nouveauté qu'il introduit. Analysé en détail par Soler (2001), cet exemple est celui de l'introduction par Planck en 1900, de la fameuse formule $\varepsilon = h\nu$, aujourd'hui symbole de la naissance de la physique quantique. Planck introduit cette formule au terme d'un raisonnement utilisant une analogie formelle dont le concept source consiste en une démonstration élaborée par Boltzmann en 1877. Il s'agit donc d'un q -morphisme de deuxième ordre au sens de Holland *et al.* (1986), c'est-à-dire d'une relation qui ne se situe pas entre un état du monde et un modèle (q -morphisme de premier ordre), mais entre une représentation ancienne (concept source) et une représentation nouvelle (concept cible). Nous sommes donc bien dans le cadre de la vision interactive résumée ci-dessus, et nous vérifierons à cette occasion la pertinence de l'affirmation répétée par Gineste (1997: 86, 126) concernant le caractère crucial de la distinction entre représentation transitoire et représentation permanente pour comprendre l'élaboration d'une représentation à partir d'une analogie.

Résumons la démonstration de Soler (2001) en gommant ses aspects techniques. Les programmes de recherche de Boltzmann et Planck présentent quatre points communs: (a) leur objectif est de démontrer l'irréversibilité des lois macroscopiques à partir de lois microscopiques réversibles; (b) leur cadre de raisonnement est un même schème à deux niveaux; (c) ils partagent la même théorie chargée de décrire le niveau supérieur, la thermodynamique phénoménologique; (d) les systèmes qu'ils étudient ont pour même propriété centrale la distribution de l'énergie sur les constituants des microsystèmes. En revanche, ces programmes de recherche diffèrent par le type de système étudié (gaz pour Boltzmann, rayonnement pour Planck) et, corrélativement, par le paradigme caractérisant le niveau microscopique (mécanique discontinue pour l'un, électrodynamique continue pour l'autre). Par l'intermédiaire d'une démonstration de l'évolution irrémédiable de l'état initial du rayonnement noir vers une loi de distribution d'équilibre déterminée, l'objectif ultime de Planck est de démontrer que le second principe de la thermodynamique est absolument (et non seulement statistiquement) valide, et que la thermodynamique macroscopique offre donc une caractérisation absolue du monde. Pour cela, il lui faut donner un fondement solide à la nouvelle loi du rayonnement qu'il a construite par tâtonnements, et proposée en octobre 1900 en réponse à la récente remise en cause de la validité universelle d'une version antérieure de cette loi, jusque là acceptée par tous. La version proposée par Planck représente adéquatement l'ensemble des données expérimentales disponibles, et c'est donc pour la légitimer sur le plan

théorique que ce dernier va procéder par analogie en utilisant une démonstration combinatoire élaborée par Boltzmann en 1877.

La démonstration de Boltzmann existe en une version continue supposée correspondre à la réalité, et en une version discrète présentée comme une approximation de la précédente, destinée à faciliter le calcul du processus physique, et à partir de laquelle il est possible de retrouver la version continue en faisant tendre certaines valeurs vers l'infini²⁸. C'est cette version discrète qui servira de modèle à Planck. Là où Boltzmann établit un lien de proportionnalité entre l'entropie du gaz et le logarithme de la probabilité d'obtenir un état macroscopique donné quelconque, et montre plus précisément que l'état macroscopique le plus probable est celui où l'entropie du gaz est maximale (équilibre thermodynamique), Planck montre que c'est bien sa loi du rayonnement qui vaut à l'équilibre en déterminant l'expression de l'entropie d'un groupe de résonateurs équifréquence. Pour cela, il découpe comme Boltzmann le *continuum* énergétique en éléments discrets: $E = p \varepsilon$, et distribue des multiples entiers de ε sur les résonateurs. En combinant l'entropie d'un résonateur (obtenue par la démonstration combinatoire) avec la loi de déplacement de Wien, elle-même combinée avec la loi de Kirchhoff-Clausius, Planck établit que $\varepsilon = h \nu$, où h est une constante, ε la quantité d'énergie et ν la fréquence d'oscillation des résonateurs. Il aboutit finalement ainsi à une expression théorique dont la forme générale est semblable à celle de la loi du rayonnement proposée par lui quelques semaines plus tôt, et corroborée par toutes les expériences alors connues.

Dans le cadre de la vision interactive de Black revisitée par Miller, la source $\{y\}$ de l'analogie est ici le lien de proportionnalité établi par Boltzmann entre l'entropie du gaz et le logarithme de la probabilité d'obtenir un état macroscopique donné quelconque, montrant que l'état macroscopique le plus probable est celui où l'entropie du gaz est maximale (équilibre thermodynamique). La cible $\{x\}$ de l'analogie est la démonstration de la loi du rayonnement, vérifiée expérimentalement, mais encore dépourvue de véritable fondement théorique. Pour établir cette démonstration, l'univers cognitif de Planck doit contenir trois éléments au titre de représentations permanentes: (a) la loi de déplacement de Wien, démontrée par ce dernier en 1893 et qui

²⁸ Dans la version continue, une molécule donnée quelconque du gaz peut à chaque instant posséder n'importe quelle valeur de l'énergie comprise entre zéro et l'énergie moyenne E du gaz. Dans la version discrète, l'infinité des valeurs du continuum énergétique E est remplacée par un nombre fini de valeurs entières: E est découpée en p petits éléments ε . Pour retrouver la version continue, il suffit de faire tendre en fin de calcul ε vers zéro et p vers l'infini (Soler, 2001: 96-97).

montre comment le graphe de l'énergie rayonnante en fonction de la fréquence est « déplacé » quand varie la température de la cavité noire; (b) la loi de Kirchhoff-Clausius stipulant que la densité d'énergie du rayonnement de fréquence est inversement proportionnelle au carré de la vitesse de la lumière; (c) l'« équation fondamentale » introduite en 1897 par Planck lui-même pour exprimer la relation entre densité d'énergie du rayonnement d'une fréquence donnée, énergie moyenne d'un résonateur de même fréquence, et vitesse de la lumière. Quant à la représentation transitoire utilisée par Planck, elle consiste en la version discrète de la démonstration de Boltzmann, que Planck fait fonctionner sur la base de l'analogie entre molécules de gaz et résonateurs, dont la vraisemblance lui est sans doute suggérée par les quatre points communs (notamment par le dernier) que présente son programme de recherche avec celui de Boltzmann.

Quel est le degré de nouveauté de la formule ainsi établie par Planck? Soler (2001: 103 *sq.*) interprète cette dernière comme le résultat nécessaire de la rencontre entre deux systèmes symboliques préstructurés. La formule de Planck serait ainsi un exemple du fait plus général selon lequel le caractère systémique du langage au moyen duquel le physicien traite de la réalité physique est susceptible de générer du nouveau dans sa discipline – en l'occurrence l'analogie serait un vecteur de nouveauté au sens faible du terme. L'argumentation globale développée par Soler à l'appui de son interprétation peut être décomposée de la manière suivante: (a) la physique présuppose un langage au sens le plus large de ce terme (langage verbal et langage mathématique); (b) tout langage étant un système symbolique tel qu'aucun des signes le constituant n'a de signification isolément, mais n'acquiert de signification qu'en tant qu'il est connecté en réseau avec les autres signes, la physique est un ensemble d'énoncés étroitement connectés; (c) le système symbolique constitué par l'ensemble des énoncés ayant été émis en 1900 à propos du problème du rayonnement noir possède une large intersection non vide avec le système symbolique formé par les énoncés constitutifs du programme de recherche de Planck sur le rayonnement noir en 1900; (d) ce second système symbolique comporte notamment une série d'énoncés de base dont chacun fonctionne pour Planck comme une contrainte absolument inéliminable (*i.e.* comme devant être absolument intégrée par toute théorie physique du corps noir digne de ce nom), et il en va de même pour les liens logiques nécessaires qui existent éventuellement entre ces énoncés; (e) ainsi constitué, le réseau de contraintes coordonnées au système symbolique formé par le programme de recherche de Planck sur le corps noir en 1900 rencontre un autre système symbolique constitué par la démonstration combinatoire discrète de Boltzmann, et cet autre système symbolique fonctionne alors également comme une contrainte dans la démonstration de Planck; (f) l'apparition de la

nouvelle formule $\varepsilon = b \nu$ peut alors être présentée comme le résultat, en un certain sens nécessaire, de cette rencontre entre deux systèmes préstructurés de contraintes symboliques, et ce résultat est aussi une nouvelle contrainte.

En somme, la physique étant conçue comme une sorte d'organisme où la fonction de chaque partie dépend de l'organisation interne du tout, et cette organisation interne étant fixée, chaque ensemble donné d'énoncés de départ contient virtuellement un certain nombre de conséquences nécessaires, non encore explicitées par aucun physicien. Le système symbolique peut alors fonctionner comme une structure anticipatrice, de telle sorte que la progression du physicien le conduit parfois à des conséquences totalement inattendues bien que déjà virtuellement présentes. Selon Soler, c'est ce qui se produit pour Planck, et plus généralement c'est ce qui explique le « mystérieux pouvoir heuristique traditionnellement reconnu à l'analogie », qu'elle préfère en conséquence nommer le « pouvoir inducteur du tissu symbolique » (Soler, 2001: 108). Pour notre part, nous reconnaissons ici les processus cognitifs implicitement contenus dans l'axiome d'omniscience logique propre à la forme syntaxique du savoir présentée par la logique épistémique, et selon lequel l'acteur cognitif connaît virtuellement toutes les conséquences logiques du savoir qu'il possède actuellement: savoir p et savoir que p implique q impliquent de savoir q (Walliser, 2000: 31). Dans cette perspective, il est clair que l'analogie ou la métaphore ne sont pas créatrices de ressemblances et de nouvelles représentations, au sens de l'interprétation radicale de la théorie de l'interaction soutenue par Indurkha (cité par Gineste, 1997: 135). Elles relèvent au contraire d'une version faible de cette théorie, qui les conçoit plutôt comme des opérateurs cognitifs produisant une réorganisation à l'intérieur de représentations existantes²⁹. Et il ressort logiquement de la discussion que Soler mène au sujet du concept de nouveauté en physique (*op. cit.*: 113 *sq.*) que l'analogie consistant à mettre en rapport des fragments de réseaux symboliques préstructurés auparavant déconnectés « est incontestablement vecteur de nouveauté au sens faible du terme, dans la mesure où elle

²⁹ Gineste rappelle à ce propos l'image utilisée par Black lui-même pour faire comprendre son interprétation du processus métaphorique: « imaginons que nous prenions un morceau de verre très fumé mais sur lequel il y aurait quelques lignes restées claires; on regarde le ciel étoilé au travers de ce morceau de verre. Seules les étoiles parfaitement alignées sur ces plages transparentes seront visibles. La configuration des étoiles observées sera ainsi organisée par la structure du verre. La métaphore fonctionne comme ce verre [...] La métaphore joue le rôle d'un filtre qui modifie, ou bouleverse (si l'on interprète de façon radicale la théorie de l'interaction), la représentation de l'objet qu'elle décrit [...] Le concept cible est interprété, ou plus exactement il est décrit, dans les termes du concept de base » (1997: 134-135).

conduit justement à suggérer presque automatiquement des combinaisons non encore explorées (pouvoir heuristique) » (*op. cit.*: 115, italiques de l'auteur). Il en alla bien ainsi de la fameuse formule de Planck, qui n'apparut révolutionnaire que des années après son établissement, au moment où sa signification physique fut pleinement arrêtée du fait de son association à l'interprétation einsteinienne (*op. cit.*: 119). Cette formule ne nous apparaît donc aujourd'hui réellement nouvelle que d'un point de vue historique.

3.2. Réseau complexe et analogie vecteur de nouveauté faible

L'interprétation proposée par Soler du rôle de l'analogie dans l'établissement de la fameuse formule de Planck a le mérite d'expliquer la conviction réaliste spontanée de la plupart des physiciens, ainsi que l'existence de « découvertes simultanées ». Cette conviction tiendrait au fait que le scientifique a le sentiment que sa pensée est portée par autre chose qu'elle-même, et inscrit dans le réel cet ordre déjà-là plutôt que d'y reconnaître le jeu des contraintes symboliques exposé plus haut. Quant aux découvertes simultanées, dont on dit souvent que l'idée « était dans l'air », elles seraient virtuellement déjà simultanément inscrites dans les systèmes symboliques de plusieurs découvreurs. Mais cette interprétation, nous l'avons vu, ne permet de penser la nouveauté qu'au sens faible du terme, et ce dernier jugement lui-même reste au moins partiellement déterminé par une appréciation personnelle irréductible. Dans la dernière partie de ce texte, nous voudrions montrer que le cadre d'analyse offert par notre modèle de réseau cognitif permet d'objectiver et de quantifier non seulement la nouveauté faible issue d'une analogie à la Planck, mais aussi la nouveauté radicale issue d'un autre type d'analogie.

Commençons par le type d'analogie utilisée par Planck, dont nous savons qu'elle débouche sur une nouveauté qui n'est qu'une recombinaison de représentations existantes. Cette nouveauté au sens faible du terme est immédiatement pensable dans le cadre de notre modèle. Reprenons en effet l'exemple sur lequel nous avons raisonné dans la section précédente, en identifiant ici nos deux acteurs cognitifs à Boltzmann et à Planck. À la date t , c'est-à-dire à ce moment de 1900 où Planck entreprend la démonstration de sa fameuse formule, la matrice booléenne correspondante se présente comme suit:

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_B	1	0	1	0	1
A_P	0	1	1	1	0

À cette date, les répertoires individuels de « Boltzmann » et de « Planck » comportent chacun trois catégories élémentaires, et sont donc représentables respectivement par deux sous-ensembles $\mathcal{P}(S_B)$ et $\mathcal{P}(S_P)$:

$$\mathcal{P}(S_B) = \{\emptyset, C_1, C_3, C_5, C_1C_3, C_1C_5, C_3C_5, C_1C_3C_5\}$$

$$\mathcal{P}(S_P) = \{\emptyset, C_2, C_3, C_4, C_2C_3, C_2C_4, C_3C_4, C_2C_3C_4\}$$

Les points communs des programmes de recherche de Boltzmann et Planck (démontrer l'irréversibilité des lois macroscopiques à partir de lois microscopiques réversibles, schème à deux niveaux, thermodynamique phénoménologique décrivant le niveau supérieur, distribution de l'énergie sur les constituants des microsystèmes) sont représentables par l'ensemble $\mathcal{P}(S_c)$ figurant l'intersection de $\mathcal{P}(S_B)$ et $\mathcal{P}(S_P)$: $\mathcal{P}(S_c) = \{\emptyset, C_3\}$.

Par ailleurs, les différences entre le programme de recherche de Boltzmann et celui de Planck (type de système étudié et paradigme caractérisant le niveau microscopique) sont représentables par les ensembles respectifs:

$$\text{Prg}(B) = \mathcal{P}(S_B) - \mathcal{P}(S_c) = \{C_1, C_5, C_1C_3, C_1C_5, C_3C_5, C_1C_3C_5\}$$

$$\text{Prg}(P) = \mathcal{P}(S_P) - \mathcal{P}(S_c) = \{C_2, C_4, C_2C_3, C_2C_4, C_3C_4, C_2C_3C_4\}$$

L'analogie formelle mise en acte par Planck est « molécules de gaz / mécanique discontinue \approx résonateurs / électrodynamique continue », et elle lui suggère d'adopter la version discrète de la démonstration combinatoire de Boltzmann. Tout se passe alors comme si l'acteur A_i (en l'occurrence Boltzmann) communiquait, par exemple, le message « C_3C_5 » à l'acteur A_k (en l'occurrence Planck) pour lequel ce message est à la fois audible (car il contient C_3) et informatif (car il contient C_5).

En conséquence, à la date $t+1$, où Planck est en mesure de publier sa fameuse formule, la matrice représentant la mémoire globale du réseau est la suivante:

	C_1	C_2	C_3	C_3^2	C_4	C_5
A_B	1	0	1	0	0	1
A_P	0	1	0	1	1	1

Le répertoire cognitif de Boltzmann n'a pas changé lors de cette communication à sens unique, mais celui de Planck a doublé de volume. En effet, en $t+1$, $\mathcal{P}(S_P)$ comporte 16 parties, dont la moitié sont inédites. Les huit parties nouvelles du répertoire cognitif de Planck sont en effet:

$$\{C_5, C_2C_5, C_3^2C_5, C_4C_5, C_2C_3^2C_5, C_2C_4C_5, C_3^2C_4C_5, C_2C_3^2C_4C_5\}$$

La réception par Planck de la catégorie élémentaire C_5 a provoqué dans son répertoire cognitif un processus de recombinaison avec celles qui y figuraient déjà, et le produit de telles recombinaisons consiste en l'apparition de ces huit parties nouvelles. Parmi celles-ci, deux figurent également dans le répertoire de Boltzmann, et ceci depuis la date t : C_5 et $C_3^2 C_5$ (c'est-à-dire C_5 et $C_3 C_5$ pour Boltzmann, en négligeant ici l'effet de renforcement inhérent à la dimension intensive de l'apprentissage, donc en posant $C_3^2 = C_3$). Les six parties nouvelles restantes peuvent donc être considérées comme exprimant la nouveauté contenue dans la formule de Planck:

$$\{C_2 C_5, C_4 C_5, C_2 C_3^2 C_5, C_2 C_4 C_5, C_3^2 C_4 C_5, C_2 C_3^2 C_4 C_5\}$$

Bien qu'elle ne soit pas partagée par d'autres acteurs cognitifs entre le moment où Planck achève sa démonstration et celui où il la publie avec son résultat, cette nouveauté est par construction aussi bien collective qu'individuelle³⁰: elle est pleinement collective pour l'observateur du réseau global (vous et moi), et potentiellement collective pour les acteurs cognitifs composant ce dernier, puisque prête à être mise à leur disposition par le biais d'une communication sociale. Sa publication prendrait alors la forme d'un message adressé à l'ensemble des acteurs et contenant au moins les six parties ci-dessus.

Puisqu'elle résulte purement et simplement d'une recombinaison de représentations déjà existantes, nous pouvons poser, en accord avec ce qui précède, que l'analogie est ici vecteur de nouveauté au sens faible du terme. En effet, ainsi traduite dans notre modèle, la nouveauté véhiculée par la formule de Planck réside bien en l'actualisation de possibilités combinatoires jusque là inexplorées, mais existant d'emblée dans notre réseau: quelle que soit la date considérée, ces possibilités inexplorées s'expriment par la différence, à cette date, entre les ensembles $\mathcal{P}(C_i^q)$ et $S = \bigcup \mathcal{P}(S_i)$. Nous retrouvons ainsi l'interprétation de Soler dans le cadre de notre modèle de réseau cognitif, en y ajoutant une quantification possible du degré de nouveauté obtenu par une démarche analogique semblable à celle de Planck³¹.

³⁰ Rappelons en effet que la mémoire globale du réseau s'exprime par $S = \bigcup \mathcal{P}(S_i)$.

³¹ Il est évident que notre modèle s'accorde également avec l'explication que donne Soler de la conviction réaliste spontanée de la plupart des physiciens – « Planck » est ici quasiment contraint de produire ces nouvelles combinaisons de représentations inscrite dans sa fameuse formule. Par ailleurs, ce modèle permet également d'expliquer, mais ceci de manière plus précise que ne le fait Soler, l'existence de découvertes simultanées: souvenons-nous des combinaisons de catégories élémentaires qui apparaissaient *simultanément* dans les répertoires cognitifs de l'ensemble des acteurs à

Cette quantification pourrait s'exprimer au moins de deux manières. La première mesurerait ce degré de nouveauté par le nombre de combinaisons nouvelles produites, et ce degré serait ainsi mécaniquement d'autant plus élevé que les connaissances antérieures de l'acteur cognitif produisant la nouveauté seraient importantes et que la partie de ces connaissances qu'il partagerait avec d'autres serait faible. En effet, tout apprentissage d'une catégorie élémentaire nouvelle double le volume du répertoire cognitif initial de l'acteur considéré, et le nombre de combinaisons nouvelles ainsi produites s'obtient en déduisant du répertoire obtenu les combinaisons figurant déjà dans les répertoires cognitifs d'autres acteurs. Le rendement croissant du processus d'apprentissage individuel se verrait ainsi tempéré par le degré de redondance du réseau cognitif global. Une seconde manière de quantifier ce degré de nouveauté consisterait à le mesurer par la réduction de différence entre les ensembles $\mathcal{P}(C_i^q)$ et $S = \bigcup \mathcal{P}(S_i)$ produite entre t et $t+1$. Remarquons alors que plus le degré de nouveauté ainsi mesuré serait élevé, plus rapidement les possibilités ultérieures de production de nouveauté se restreindraient, car plus rapidement le réseau global finirait par venir buter sur la limite représentée par la réalisation d'un équilibre informationnel tel que nous l'avions décrit dans la section précédente:

$$S = \bigcup \mathcal{P}(S_i) = \mathcal{P}(C_i^q), [a_{ij}] = 1, \forall i, \forall j.$$

3.3. Réseau complexe et analogie vecteur de nouveauté radicale

Introduisons à présent dans notre modèle un type d'analogie vecteur d'une nouveauté radicale, en commençant par souligner que la limite représentée par l'équilibre informationnel ci-dessus n'a rien d'absolu. En effet, cette limite résulte uniquement du fait que le nombre d'acteurs cognitifs ainsi que le niveau d'*agraindissement* actuellement atteint par chacun d'eux dans sa représentation du monde ont été supposés donnés. Il suit que la liste de l'ensemble des catégories élémentaires figurant dans la mémoire globale S du réseau a été supposée donnée, ce qui implique que le nombre de combinaisons possibles $\mathcal{P}(C_i^q)$ était considéré comme une constante. Or, la croissance de chaque $\mathcal{P}(S_i)$, produite par la seule communication sociale, est aussi (mécaniquement) celle de S . Et comme le nombre b de renforcements nécessaires à la disparition de chaque catégorie C_i^q du niveau conscient de l'acteur cognitif est supposé constant, la mémoire globale S du réseau tend nécessairement à un taux croissant vers la limite finie $\mathcal{P}(C_i^q)$, $[a_{ij}] = 1, \forall i, \forall j$.

la date $t+1$, suite à une communication bilatérale, alors qu'elles ne figuraient dans *aucun* de ces répertoires à la date t (cf. *supra*: 15).

Dans ces conditions, il est clair que cet équilibre informationnel est atteint au terme d'une durée finie (*i.e.* D'un nombre fini de communications sociales).

Mais ces conditions n'ont aucune raison de s'imposer, et la réalisation d'un tel équilibre peut être différée, empêchée ou même contrariée, par divers moyens qui sont tous fondés sur la même opération: transformer une constante en variable. Nous pourrions ainsi imaginer de faire varier le nombre de participants au réseau en introduisant dans le modèle des générations successives d'acteurs cognitifs individuels, et ceci de telle sorte que le stock de ces derniers aille en s'accroissant. Impliqué par la succession de générations d'acteurs, le renouvellement continu du lexique des catégories élémentaires dans la mémoire globale du réseau ainsi que l'augmentation du volume de cette mémoire due à la croissance démographique des agents viendraient alors s'opposer au processus unidirectionnel menant le réseau vers son équilibre informationnel. Selon les taux respectifs de renouvellement du lexique, de croissance démographique et de socialisation des catégories élémentaires existantes, par le biais de la communication sociale, ce processus prendrait davantage de temps, pourrait être stabilisé voire inversé.

Un deuxième moyen d'obtenir le même genre de résultat consisterait à introduire de nouvelles catégories élémentaires dans le modèle par le biais d'un processus d'apprentissage consistant en un *raffinement* de catégories élémentaires *existantes*. Chaque agent individuel est en effet susceptible d'accéder à un niveau plus fin d'*agraindissement* en raffinant telle catégorie C_i^q donnée en une série finie de sous-catégories C_{j1}^q, C_{j2}^q , etc., introduisant ainsi mécaniquement de nouvelles catégories dans le réseau global. Puisque chaque catégorie C_i^q se verrait alors réactivée (fût-ce de manière intra-individuelle) dans le répertoire cognitif de l'acteur concerné à chaque division en sous-catégories, ces dernières seraient plus précisément de la forme $C_{j1}^{q+1}, C_{j2}^{q+1}$, etc., étant donné le niveau d'*agraindissement* plus fin ainsi mis en œuvre. Et bien entendu, chaque sous-catégorie C_{j1}^{q+1} (ou C_{j2}^{q+1} , etc.) ainsi obtenue donnerait des sous-sous-catégories $C_{j11}^{q+2}, C_{j12}^{q+2}, C_{j13}^{q+2}$, etc., (ou $C_{j21}^{q+2}, C_{j22}^{q+2}$, etc.), en étant à son tour raffinée par l'adoption d'un niveau d'*agraindissement* encore plus fin par l'acteur cognitif concerné. La différenciation du répertoire cognitif de ce dernier s'accompagne donc nécessairement d'un renforcement des catégories élémentaires anciennes, et ce processus tend vers la limite asymptotique constituée par un niveau nul d'*agraindissement* où, pour reprendre la célèbre métaphore de Korzybski (1950), la carte deviendrait le territoire. Mais c'est bien d'une limite asymptotique qu'il s'agit, car la progression vers des niveaux toujours plus fins d'*agraindissement* est bornée par la valeur b

conduisant les catégories de type $C_{j(h-1)}^h$ à disparaître du niveau conscient des répertoires cognitifs³².

Génération d'agents en croissance démographique et croissance par raffinement du nombre de catégories élémentaires existantes permettent, chacune à sa manière, de contrarier la tendance du réseau à rejoindre son équilibre informationnel. Mais aucune de ces deux voies théoriques n'explique la *genèse* des catégories élémentaires présentes dans les répertoires cognitifs d'une population *donnée* d'acteurs cognitifs dotés d'un niveau *donné* d'*agrandissement*. Comment expliquer cette genèse? Souvenons-nous à ce propos que l'équilibre informationnel du réseau a été analysé dans le cadre d'un modèle qui n'a jusqu'à présent envisagé, comme type d'interaction entre l'acteur individuel et son environnement, que le cas particulier représenté par la seule communication sociale. Or, il existe au moins deux autres types d'interactions réalisables par l'acteur individuel: son interaction avec lui-même, impliquée par la dimension méta-représentationnelle de la cognition humaine, et son interaction avec son environnement naturel. Bien que distincts sur le plan conceptuel, ces deux types d'interactions sont liés de manière indissoluble sur le plan empirique par la dimension d'intentionnalité inhérente à la cognition humaine: si tout état mental (conscient ou non) représente un état de choses du monde (réalisé, désiré, existant ou non, voire impossible), l'inscription corporelle de l'esprit (au sens donné à cette expression par Varela *et al.* (1993) implique que le contenu de cet état n'est jamais totalement indépendant de l'environnement – notamment de l'environnement naturel – de l'acteur cognitif individuel considéré. Interaction avec soi-même et interaction avec l'environnement donnent ainsi lieu à une activité de connaissance définie en termes très larges – à une pensée connaissante en général, liée au langage. Nous allons voir que cet intellect langagier, qui « englobe à la fois les spéculations les plus abstraites et la masse de la pensée commune » (Schlanger, 1995: 582), est susceptible de produire des analogies vecteurs de nouveautés radicales, conjurant ainsi le spectre d'une fin de l'Histoire en donnant un caractère *ouvert* à notre réseau cognitif complexe.

³² Ce genre de processus de raffinements est typique de certains processus d'apprentissages réalisés par des acteurs identifiés à des agents économiques individuels – par exemple, dans les modèles de marchés contingents à la Arrow-Debreu (Kreps, 1990: 217 *sq.*) – mais ceci sans prendre en compte les phénomènes de renforcements introduits ici. Plus généralement, c'est en de tels raffinements que consiste principalement l'apprentissage des acteurs dans la toute récente économie cognitive (Walliser, 2000).

Notre problème consiste en fait à introduire dans le modèle un fonctionnement cognitif susceptible de produire des catégories élémentaires *idiosyncratiques* telles que C_1 ou C_4 dans les répertoires individuels. Or, il se trouve que les opérations mentales mises en acte par l'analogie débouchent précisément sur un tel résultat. Latour et Woolgar (1988: 175 *sq.*), après avoir souligné le rôle prépondérant que jouent les « raisonnements de type analogique » dans l'activité scientifique, nous en fournissent un exemple:

La bombésine se comporte parfois comme la neurotensine

La neurotensine fait décroître la température.

Donc la bombésine fait décroître la température.

Bien entendu, ce « raisonnement de type analogique » est logiquement incorrect. « Et pourtant, ce type de raisonnement suffit à lancer une recherche qui devait conduire à des résultats salués comme une contribution exceptionnelle » (*op. cit.*: 176). Soulignons l'opération mentale de *catégorisation* ainsi impliquée: la similitude partielle (« parfois ») de comportements de la bombésine et de la neurotensine conduit le scientifique (en l'occurrence Marvin Brown, un médecin spécialisé dans la physiologie des neurotransmetteurs) à rassembler ces deux substances dans une classe d'équivalence prédiquée par la capacité de faire décroître la température. S'il illustre parfaitement le lien entre analogie et catégorisation, cet exemple s'avère néanmoins insuffisant pour notre propos, car la classe des substances dotées de cette capacité existait *avant* que Brown n'eût l'idée d'y ranger la bombésine sur la base de ses similitudes de comportement avec la neurotensine qui y figurait déjà. Or, ce que nous voulons montrer est le rôle de l'analogie dans la *création* de nouvelles classes d'équivalence, parmi lesquelles certaines seront de véritables catégories psychologiques.

Tournons-nous alors vers un autre type de « raisonnement analogique », qui repose sur une défaillance logique bien plus grave que la précédente. Cette défaillance se trouve au cœur d'une critique dévastatrice du vérificationnisme en tant que croyance prépoppérienne en la valeur probatoire d'une confirmation particulière (par exemple, d'un résultat d'expérience) en matière de vérité scientifique d'un énoncé général (d'une théorie). Cette critique dévastatrice est donc aussi celle de l'inductivisme. La défaillance en question porte sur la construction de la forme la plus connue de syllogisme – la forme *Barbara*. Rappelons en effet la forme correcte de ce syllogisme:

Tous les hommes sont mortels

Socrate est un homme

Donc Socrate est mortel

Dans la prémisse majeure, nous distinguons ici l'antécédent « tous les hommes » du conséquent « sont mortels ». La prémisse mineure affirme l'antécédent de la majeure, « Socrate est un homme », et la conclusion nécessaire de ce *modus ponens* est « Socrate est mortel ». Telle est la manière correcte de raisonner dans la logique classique constituant une partie de l'univers cognitif aristotélicien – une logique bivalente, au sens où elle ne connaît que deux valeurs de vérité: le vrai et le faux.

La faute de logique consiste à affirmer dans la mineure le conséquent de la majeure, au lieu de son antécédent. Elle prend ainsi la forme suivante:

Tous les hommes sont mortels
Socrate est mortel
Donc Socrate est un homme

La majeure n'a pas changé, mais la mineure porte sur une autre de ses parties, pour en inférer une conclusion logiquement fausse – non nécessaire: Socrate est mortel, soit, mais il pourrait tout aussi bien être une souris. Dans l'épistémologie poppérienne, c'est là l'un des éléments de l'asymétrie fondamentale entre la vérification et l'infirmité³³. Comme le résume élégamment Blaug, d'un point de vue strictement logique, « nous ne pouvons jamais affirmer qu'une hypothèse (théorie) est nécessairement vraie parce qu'elle est en accord avec les faits; en raisonnant à partir de la vérité des faits pour affirmer la vérité de la théorie, nous commettons implicitement l'erreur de raisonnement qui consiste à affirmer le conséquent (982: 13-14). Gardons néanmoins cette structure logique erronée en mémoire, et évoquons le syllogisme de Bateson (1996: 325 *sq.*):

L'herbe est mortelle
Or, les hommes sont mortels
Donc, les hommes sont de l'herbe

Ce syllogisme est manifestement erroné pour la même raison que le précédent: la mineure affirme le conséquent de la majeure: « mortel », et arrive à une conclusion aussi logiquement fausse que « Socrate est un homme ». Mais son avantage sur le précédent est de faire davantage sursauter le non-logicien toujours imprégné de vérité factuelle – qui peut bien admettre que Socrate soit un homme, mais refuse absolument d'être confondu avec de l'herbe.

³³ Introduit dans Popper (1973: 36 *sq.*), ce thème central de l'épistémologie poppérienne est traité de manière beaucoup plus complète dans Popper (1990: 199 *sq.*).

Analysons alors plus précisément les opérations cognitives à l'œuvre dans les deux formes, correcte et fautive, du syllogisme. Nous nous apercevons aussitôt qu'elles consistent en réalité en deux démarches différentes mais complémentaires, et tout aussi légitimes l'une que l'autre. Quelles sont en effet les opérations cognitives à l'œuvre dans la forme correcte du syllogisme *Barbara*? On commence par *affirmer l'existence* de la classe de « tous les hommes », déterminée par le prédicat « être mortel » – c'est la prémisse majeure. On poursuit en nommant un membre de cette classe, Socrate, en l'identifiant comme tel – c'est la prémisse mineure. On conclut en assertant que le prédicat qui détermine la classe doit nécessairement prédiquer aussi ce membre de cette classe. Or, les opérations cognitives à l'œuvre dans la forme fautive du syllogisme sont totalement différentes. Comme le remarque Bateson, « le syllogisme en herbe s'intéresse au rapport entre les prédicats, et non entre des classes ou entre les sujets des phrases, il s'intéresse à l'identité des prédicats. Mortel-mortel: ce qui est mortel est égal à cette autre chose mortelle (1996: 327). En d'autres termes, le « syllogisme en herbe » *construit une classe qui n'existait pas auparavant* sur la bases de prédicats partagés par deux « choses »: il construit la classe « choses mortelles » sur la base d'une analogie entre deux objets d'observation. Du coup, l'absurdité apparente de la conclusion disparaît: les hommes sont bel et bien de l'herbe, et réciproquement, *en tant qu'ils sont mortels* – comme d'ailleurs une foule d'autres choses, toutes également rangées dans la classe « choses mortelles ».

Ce type d'analogie est différent de celui qui produisait une nouveauté au sens faible du terme, car la relation se construit ici entre un état du monde et un modèle. Il s'agit donc d'un *q*-morphisme de premier ordre au sens de Holland *et al.* (1986), et non d'un *q*-morphisme de deuxième ordre caractérisant une relation entre une représentation ancienne (concept source) et une représentation nouvelle (concept cible). Corrélativement, la fonction psychologique essentielle de ce type d'analogie ne consiste pas à appréhender une situation nouvelle ou mal connue en la traitant comme une situation connue, mais bien à *créer* une classe nouvelle. En ce sens, c'est ce type d'analogie qui relève de l'interprétation radicale de la théorie de l'interaction. Par ailleurs, il est clair que le « syllogisme en herbe » n'est incorrect que dans le cadre de la logique classique, au sens où la conclusion ne découle pas *nécessairement* des prémisses. C'est en ce sens, *et en ce sens seulement*, que cette conclusion « n'est pas vraie » et donc qu'elle est

« fausse »³⁴. Dans le cadre plus large qui est celui de la logique modale, le « non nécessairement vrai » ne s'identifie pas au « faux », puisque cette logique traite du nécessaire et de ce qui ne l'est pas: le contingent, du possible et de ce qui ne l'est pas: l'impossible. Dans un tel cadre, il est *possible* que Socrate soit un homme, et cette hypothèse peut fonder un raisonnement inductiviste débouchant sur une conclusion probable. C'est bien de la forme logiquement erronée qui est celle du « syllogisme en herbe » que procède la démarche heuristique caractérisant tout système adaptatif complexe qui identifie des régularités à partir de l'observation de ses interactions avec son environnement, et en particulier le scientifique identifiant des régularités qu'il condense en formulant des théories: ces régularités identifiées proviennent de similitudes observées. Certes, l'analogie peut nous permettre de mieux comprendre des objets mal connus à partir d'objets mieux connus, et jouer un rôle de vecteur de nouveauté faible en actualisant des combinaisons de représentations restées jusque là virtuelles. Mais en deçà même de ce jeu sur des ressemblances existant entre des représentations données, elle peut également être vecteur de nouveauté radicale en créant de nouvelles représentations composées de catégories nouvelles qu'elle met au jour en les nommant.

Notre modélisation a porté sur des représentations plutôt que sur des connaissances, car ce qui nous importe ici est le fait que les croyances des acteurs soient *agissantes*, qu'elles soient « vraies justifiées » ou non. Or, les croyances des acteurs deviennent agissantes lorsque la démarche heuristique par laquelle ces derniers construisent des classes d'équivalence se traduit par la constitution de véritables catégories psychologiques³⁵. Dans ce cadre, une

³⁴ Il est d'ailleurs piquant de remarquer que dans une autre partie de l'univers cognitif aristotélicien, nommément celle qui s'écrit dans la *Métaphysique* (116b29), l'analogie retrouve ce que nous pourrions appeler une proto-valeur scientifique que la construction correcte du syllogisme *Barbara* lui déniait: elle constitue précisément ici un moyen de créer des catégories.

³⁵ Pour reprendre l'exemple précédent, construire la classe d'équivalence des « choses mortelles » est simultanément construire celle des « choses non mortelles ». Or, il se trouve que ces deux sous-classes devinrent historiquement des catégories psychologiques collectives pleinement partagées jusqu'à l'aube de la période classique de l'Antiquité grecque: l'histoire des mentalités montre en effet que cette opposition « mortel *versus* immortel » constitua pour les anciens Grecs le principal critère de distinction entre les hommes et les dieux. Cette opposition fut alors pleinement agissante (au sens où elle incita les hommes de ces temps à commettre certaines actions

catégorie élémentaire nouvellement issue de la construction d'une classe d'équivalence inédite au terme d'un « syllogisme en herbe » vient dès lors se combiner avec les catégories élémentaires qui figuraient déjà dans le(s) répertoire(s) cognitif(s) concerné(s). Par exemple, une combinaison $\{C_1C_2C_6\}$ qui figurerait dans le répertoire cognitif de A_i à la date t_2 résulterait de la combinaison de $\{C_1C_2\}$, déjà présente à la date t_1 dans ce répertoire, avec une nouvelle catégorie idiosyncratique C_6 tout juste issue d'un « syllogisme en herbe ». Elle serait dès lors prête à être plus ou moins partagée par l'ensemble des acteurs individuels à la faveur du jeu combinatoire propre à la communication sociale. Ainsi, même si l'inductivisme (« sophistiqué » ou non) doit être abandonné en tant que démarche immédiatement productrice de *connaissances*, faute d'avoir « de plus en plus échoué à jeter une lumière nouvelle et intéressante sur la nature de la science » (Chalmers, 1987: 71), il semble devoir être conservé en tant que démarche productrice de nouvelles *représentations*.

Comme l'indiquent Gell-Mann et tant d'autres, le produit de cette démarche heuristique est ensuite mis à l'épreuve par la confrontation entre théorie et observations, et la forme correcte du syllogisme reprend alors ses droits tels qu'ils s'inscrivent dans le cadre étroit de la logique classique – notamment par l'utilisation du *modus tollens*, qui consiste à *contester* (et non affirmer) le conséquent, ce qui est toujours logiquement correct: si Socrate n'est pas mortel, il ne saurait logiquement être un membre de la classe des hommes, qui sont prédiqués l'être tous. Selon l'expression de Blaug (1982: 14), il n'y a donc pas de logique de la preuve, mais il y a une logique de la réfutation – toujours dans le cadre de la seule logique classique, bien sûr. En revanche, « selon l'inductivisme le plus sophistiqué, les actes créatifs, dont les plus novateurs et les plus significatifs requièrent du génie et font appel à la psychologie individuelle du savant, défient l'analyse logique » (Chalmers, 1987: 69). Indépendamment de la notion de « génie » et de l'appel à la « psychologie individuelle du savant », la complémentarité entre opérations cognitives respectivement mises en œuvre par les formes erronée et correcte du syllogisme apparaît donc bien au centre de la complémentarité entre ce que Reichenbach (1938) a respectivement appelé « contexte de la découverte » et « contexte de la justification » en sciences. Quelles que soient les

et leur interdisait simultanément d'en commettre d'autres) jusqu'aux VI^e-V^e siècles avant notre ère, période qui vit la tragédie attique poser en termes renouvelés les rapports entre les hommes et les dieux (Vernant et Vidal-Naquet, 1972, 1986).

difficultés empiriques engendrées par cette distinction en matière d'évolution scientifique historiquement observable, elle doit être maintenue sur le plan conceptuel qui est celui des opérations cognitives respectivement mises en acte dans l'un ou l'autre contexte³⁶.

Un exemple particulièrement éclairant de « syllogisme en herbe » nous est offert par la métaphore du programme d'ordinateur en ce qui concerne la structure et le fonctionnement des A.D.N. À la suite de Miller, nous avons noté plus haut que les métaphores les plus créatives sont celles pour lesquelles la dissemblance entre concept source et concept cible paraît la plus importante au premier abord. Et nous savons que les métaphores pour lesquelles cette tension est maximale font entrer en jeu du raisonnement non propositionnel, c'est-à-dire non logique, qui repose souvent sur l'imagerie visuelle. Est-ce la force de la tension entre l'image du programme d'ordinateur et celle des A.D.N. qui constitue l'explication des progrès fulgurants réalisés par la biologie moléculaire devenue l'une de nos sciences-reines? En tout cas, il est clair que le programme d'ordinateur fut ici le concept source {y} qui permit d'analyser le concept cible {x} que constituaient les A.D.N. – et ceci avec le succès qui vient d'être souligné. Or, cette métaphore fut introduite par un article de Mayr (1961) selon une construction cognitive obéissant *exactement* au modèle logiquement erroné du syllogisme *Barbara* exposé plus haut. En effet, telle que l'explicite Atlan

³⁶ Le même Feyerabend, qui niait la pertinence de cette distinction au nom de Galilée faisant adopter le système de Copernic grâce à un usage trompeur des nouvelles interprétations physiques du mouvement (1979: 152, 167, 170), aurait sans nul doute admis la validité heuristique des opérations cognitives sous-jacentes à l'analogie opérant dans le contexte de la découverte, mais dénuées de validité dans celui de la justification gouverné par la logique classique. En fait, la distinction de ces contextes est pertinente sur le plan de principes normatifs guidant certains moments de la démarche scientifique, bien qu'elle puisse légitimement être remise en cause sur le plan descriptif où « les préjugés, la passion, la vanité, les erreurs, le simple entêtement » (Feyerabend, *ibid.*: 167) se mêlent inextricablement aux « lois dictées par la raison » (*ibid.*). C'est pourquoi elle reste valide aux yeux des philosophes des sciences, notamment lorsque, à l'instar d'un Popper, ils se désintéressent presque entièrement du contexte de la découverte, ou vont jusqu'à nier tout caractère scientifique aux études qui portent sur ce contexte: la distinction prend alors la forme radicale d'une élimination. Et réciproquement, c'est aussi pourquoi elle est souvent rejetée par les sociologues des sciences au nom de l'inextricable entremêlement de la raison et des passions, ainsi que des déterminations sociales des sciences et des techniques: la non-distinction entre les deux contextes prend alors la forme radicale de leur confusion.

(1999: 23 *sq.*), cette construction recèle le sophisme suivant: (a) l'A.D.N. est une séquence quaternaire, facilement réductible à une séquence binaire; (b) tout programme séquentiel d'ordinateur classique est réductible à une séquence binaire; de ces deux propositions, Mayr déduit (c): les déterminations génétiques fonctionnent à la manière d'un programme d'ordinateur inscrit dans l'A.D.N. des gènes. Selon Atlan (*op. cit.*: 24), l'erreur de raisonnement consiste ici à tenir pour vraie la réciproque de la seconde proposition (à savoir, tenir pour vrai que toute séquence binaire est un programme). Or, il est clair que le fait que tout programme puisse se ramener à une séquence binaire n'implique absolument pas que toute séquence binaire soit nécessairement un programme! Dans les termes que nous avons employés plus haut, Mayr commet manifestement l'erreur consistant à affirmer le conséquent: la première proposition dit que *A* (l'A.D.N.) *est B* (une séquence binaire), et la seconde dit que *C* (programme d'ordinateur) *est B* (une séquence binaire), d'où Mayr déduit que *A est C*, exactement comme le syllogisme de Bateson disait que *A* (l'herbe) *était B* (mortelle), puis que *C* (l'homme) *était B* (mortel), d'où était déduit que *A était C* (l'herbe est de l'homme, ici équivalent à *C est A*: l'homme est de l'herbe).

L'analogie introduite ici est « fonctionnement des A.D.N. = programme d'ordinateur ». Elle crée la catégorie « machine » sur la base d'une similitude présumée entre machines naturelles et machines artificielles, et conduit ainsi la biologie moléculaire à poser ses questions dans un langage nouveau. Selon Atlan, en effet, les réponses à ces questions impliquent inévitablement une inversion des termes du vieux débat autour du vitalisme: il ne s'agit plus d'accepter, ou non, de réduire le vivant au physico-chimique, mais d'élargir le physico-chimique « à une biophysique des systèmes organisés, applicable à la fois à des machines artificielles et naturelles » (1979: 23-24). Les travaux sur la logique de l'auto-organisation vont dans ce sens: « les performances les plus extraordinaires des organismes vivants sont le résultat de *principes cybernétiques particuliers* qu'il s'agit de découvrir et de préciser. En tant que principes *particuliers*, ils doivent rendre compte du caractère propre aux organismes vivants que présentent ces performances. Mais en tant que principes *cybernétiques*, ils sont postulés en continuité avec les autres domaines de la cybernétique, les mieux connus, ceux qui s'appliquent aux automates artificiels. Les conséquences de ce postulat sont doubles: (a) la spécificité des organismes vivants est rattachée à des principes d'organisation plutôt qu'à des propriétés vitales irréductibles; (b) ces principes une fois

découverts, rien ne devrait empêcher de les appliquer à des automates artificiels dont les performances deviendraient alors égales à celles des organismes vivants » (*ibid.*: 24, italiques de l'auteur).

Le résultat du syllogisme erroné de Mayr représente donc bien davantage qu'une contribution exceptionnelle, telle celle qu'avait représentée le résultat du syllogisme erroné de Brown, car il consiste en une tout autre manière de poser le problème des relations entre le vivant et l'inanimé: la question n'est plus de réduire ou non le premier au second, mais d'élargir le second au premier. Au-delà d'une avancée scientifique ponctuelle, c'est ainsi tout un pan de la biologie théorique qui voit inverser sa manière habituelle de poser les problèmes. Et comme le montre cet exemple, l'analogie vecteur d'une nouveauté au sens *faible* du terme – celle qui est censée permettre une meilleure compréhension du concept cible constitué par les « machines naturelles » à l'aide du concept source « machines artificielles » – est une analogie *seconde*: elle n'existe, et ne peut être mise en acte, *que* parce qu'elle est précédée de l'analogie *primaire* « fonctionnement des ADN = programme d'ordinateur ». Or, l'énonciation de cette analogie primaire véhicule une nouveauté *radicale* au sens où elle constitue le geste inaugural créant, dans ce contexte, la catégorie « machines ». Il en va de même pour la formule de Planck. Si ce dernier a pu considérer comme légitime d'emprunter la démonstration combinatoire de Boltzmann pour mieux maîtriser son concept cible (la loi du rayonnement) à partir du concept source que lui offrait Boltzmann (le lien de proportionnalité entre entropie d'un gaz et probabilité d'un état macroscopique), c'est bien parce qu'il avait *auparavant* établi dans son univers cognitif une similitude entre les molécules de gaz et les résonateurs. Cette analogie primaire avait alors introduit dans son univers une catégorie nouvelle « constituants de micro-systèmes sur lesquels se distribue de l'énergie », mettant ainsi en acte une *abstraction métaphorisante* au sens de Grize (1990).

Conclusion

Sous de multiples formes, l'analogie et la métaphore ont montré leur fécondité épistémologique tout au long de l'histoire des sciences occidentales, qu'il s'agisse des sciences de la nature (Lichnerowicz, Perroux et Gadoffre [dir.], 1980; Bolmont, 1999), des sciences sociales et humaines (De Coster, 1978; Walliser, 1998, Lefebvre, 2000), ou de cette zone fascinante où la science et l'art s'entremêlent (Miller, 2000). Cette fécondité tient au fait

qu'analogies et métaphores jettent une lumière différente sur un objet: sous la double condition qu'elles ne cessent de creuser la distance qu'elles entretiennent avec leur concept-source et que la fréquence de leur répétition ne les transforme pas en lieux communs, elles permettent de visualiser autrement. En rompant avec les divisions usuelles, elles se présentent ainsi comme des étapes indispensables aux élaborations de concepts (Utaker, 2002). Ces étapes relèvent d'une logique de la découverte (où fonctionnent des représentations) qui précède la logique de la justification (où fonctionnent des connaissances). Le parcours qui va de l'analogie au concept est, comme l'écrit lumineusement Utaker (*op. cit.*: 218), celui de l'éclipse de la première au profit du surgissement du second. Ainsi que le montre la suite de l'histoire de l'établissement de la similitude entre bombésine et neurotensine par Brown, ce parcours est celui d'une double transformation: « D'une part, la démarche analogique cède souvent la place à un lien logique. D'autre part, la série complexe de contingences locales qui ont permis d'établir momentanément un lien faible, est remplacée par des éclairs d'intuition. La forme: *Il est venu une idée à quelqu'un* résume ce processus de manière hautement condensée. Tel est également le biais pour surmonter la contradiction essentielle contenue dans les procédures utilisées par les scientifiques: si elles sont logiques, elles sont stériles; si elles sont fructueuses, elles sont logiquement incorrectes » (Latour et Woolgar, 1988: 177).

Notre modélisation a fait apparaître que le fonctionnement cognitif impliqué par l'analogie et la métaphore débouchait sur la création de nouvelles catégories. Cette création s'avère propre à contrecarrer l'évolution de notre réseau complexe vers une forme de mort entropique autrement inéluctable. Lorsque le taux de production de catégories idiosyncratiques nouvelles est égal au taux de socialisation des catégories idiosyncratiques existantes, le taux de production d'information est constant à l'intérieur du réseau, alors qu'il est nul à l'équilibre informationnel décrit plus haut: l'introduction de nouvelles catégories idiosyncratiques, par le biais d'analogies vecteurs de nouveauté radicale, compense continuellement la diminution de ce taux dans le réseau, et maintient ainsi à un niveau constant la complexité fonctionnelle de ce dernier. Et la productivité des « syllogismes en herbe » peut être telle que cette complexité fonctionnelle augmente. L'observateur peut alors se consoler de la perte de prédictibilité correspondante en y voyant le signe même de l'inépuisable richesse d'une Histoire sans fin. En définitive, c'est donc par l'introduction d'une défaillance logique dans le fonctionnement cognitif des acteurs individuels que le réseau

est sans cesse alimenté en représentations nouvelles dont certaines déboucheront sur des connaissances nouvelles. La morale de tout ceci pourrait bien être que si Popper avait eu vraiment raison, Popper n'aurait jamais existé.

Références

- Ancori, Bernard (1992). « Mémoire et apprentissage: de la neurobiologie à l'auto-organisation ». In: Ancori, B. (dir.), *Apprendre, se souvenir, décider. Une nouvelle rationalité de l'organisation*. Paris, CNRS Éditions, 51-104.
- Ancori, Bernard (1997). « Évolution, complexité et consensus monétaire: un modèle théorique et quelques illustrations historiques ». *Économie appliquée*, Tome L (3): 199-236.
- Argyris, Chris (1995). *Savoir pour agir. Surmonter les obstacles à l'apprentissage organisationnel*. Paris, InterÉditions, [1993].
- Argyris, Chris et Schön, Donald A. (1974). *Theory in Practice*. San Francisco, Jossey-Bass.
- Atlan, Henri (1972). *L'Organisation biologique et la théorie de l'information*. Paris, Hermann.
- Atlan, Henri (1979). *Entre le cristal et la fumée. Essai sur l'organisation du vivant*. Paris, Seuil.
- Atlan, Henri (1991). « L'Intuition du complexe et ses théorisations ». In: Fogelman Soulié, F. et Milgram, M. (dir.), *Les Théories de la complexité. Autour de l'œuvre d'Henri Atlan*. Paris, Seuil, 9-42.
- Atlan, Henri (1999). *La Fin du « tout génétique »? Vers de nouveaux paradigmes en biologie*. Paris, INRA Éditions.
- Bachelard, Gaston (1970). *Le Droit de rêver*. Paris, PUF.
- Barberousse, Anouk, Kistler, Max et Ludwig, Pascal (2000). *La Philosophie des sciences au XX^e siècle*. Paris, Flammarion.
- Bateson, Gregory (1977). *Vers une écologie de l'esprit, Tome I*. Paris, Seuil, [1972].
- Bateson, Gregory (1980). *Vers une écologie de l'esprit, Tome II*. Paris, Seuil, [1972].
- Bateson, Gregory (1984). *La Nature et la pensée*. Paris, Seuil, [1979].
- Bateson, Gregory (1996). *Une Unité sacrée. Quelques pas de plus vers une écologie de l'esprit*. Paris, Seuil, [1991].
- Berthelot, Jean-Michel (2000). « Épistémologie et sociologie de la connaissance scientifique », *Cahiers internationaux de Sociologie*, CIX, juillet-décembre, 221-234.
- Black, Max (1962). *Models and Metaphors: Studies in Language and Philosophy*. Ithaca, Cornell University Press.
- Black, Max (1993). « More about Metaphor ». In: Ortony, A. (dir.), *Metaphor and Thought*. Cambridge, Cambridge University Press, 19-41.

- Blaug, Mark (1982). *La Méthodologie économique*. Paris, Economica.
- Bolmont, Étienne (1999). *Le Rôle épistémique des analogies à l'exemple de l'électricité, du magnétisme et de l'électromagnétisme au XIX^e siècle*, Thèse d'Épistémologie et Histoire des Sciences, Université de Nancy II.
- Bouveresse, Jacques (1999). *Prodiges et vertiges de l'analogie. De l'abus des belles-lettres dans la pensée*. Paris, Éditions Raisons d'Agir.
- Boyer, Robert et Orléan, André (1994). « Persistance et changement des conventions. Deux modèles simples et quelques illustrations ». In: Orléan, André (dir.), *Analyse économique des conventions*. Paris, PUF, 219-247.
- Brillouin, Léon (1959). *La Science et la Théorie de l'Information*. Paris, Masson, [1956].
- Bunge, Mario (1975). *Philosophie de la physique*. Paris, Seuil, [1973].
- Callon, Michel et Latour, Bruno (1991). *La Science telle qu'elle se fait. Anthologie de la sociologie des sciences de langue anglaise*. Paris, La Découverte.
- Céard, Jean (1980). « Analogie et zoologie chez les naturalistes de la Renaissance ». In: Lichnerowicz, André, Perroux, François et Gadoffre, Gilbert (dir.), *Analogie et connaissance, Tome I - Aspects historiques*. Paris, Maloine, 75-89.
- Chalmers, Alan F. (1987). *Qu'est-ce que la science? Récents développements en philosophie des sciences : Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend*. Paris, La Découverte, [1976].
- De Coster, Michel (1978). *L'analogie en sciences humaines*. Paris, PUF.
- Dion, Emmanuel (1997). *Invitation à la théorie de l'information*. Paris, Seuil.
- Eco, Umberto (1994). *La Recherche de la langue parfaite dans la culture européenne*. Paris, Seuil.
- Edelman, Gerald M. (1992). *Biologie de la conscience*. Paris, Odile Jacob.
- Feyerabend, Paul (1979). *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*. Paris, Seuil, [1975].
- Fox Keller, Evelyn (1999). *Le Rôle des métaphores dans les progrès de la biologie*. Institut Synthélabo pour les progrès de la connaissance, [1975].
- Gadoffre, Gilbert (1980). « Introduction ». In: Lichnerowicz, A., Perroux, F. et Gadoffre, G. (dir.), *Analogie et connaissance, Tome I - Aspects historiques*. Paris, Maloine, 5-10.
- Gell-Mann, M. (1995). *Le Quark et le jaguar. Voyage au cœur du simple et du complexe*. Paris, Albin Michel, [1974].
- Gil, F. (1990). « Catégories ». *Encyclopediæ Universalis*, Tome IV, 88-91.
- Gineste, Marie-Dominique (1997). *Analogie et cognition. Étude expérimentale et simulation informatique*. Paris, PUF.
- Grize, Jean-Blaise (1990). *Logique et langage*. Paris, Ophrys.
- Holland, John H., Holyoak, Keith J., Nisbett, Richard E. et Thagard, Paul R. (1986). *Induction: Processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge, MIT Press.

- Jacques, Francis (1989). « Contexte de justification et contexte de découverte: une réévaluation ». In: Bouveresse, R. (dir.), *Karl Popper et la science d'aujourd'hui*. Paris, Aubier, 63-91.
- Korzybski, Alfred (1950). *Perception: An approach to Personality*. New York, Robert Blake and Glenn Ramsey. (Traduction française partielle: *Une Carte n'est pas le territoire. Prologomènes aux systèmes non aristotéliens et à la sémantique générale*, Paris, Éditions de l'Éclat, 1998, 19-100.)
- Kreps, David M. (1990). *A Course in Microeconomic Theory*. Princeton, Princeton University Press.
- Kuhn, Thomas S. (1972). *La Structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion, [1962].
- Latour, Bruno et Woolgar, Steve (1988). *La Vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Paris, La Découverte, [1979].
- Lefebvre, Frédéric (2000). « La Vertu des images. Analogie, proportion et métaphore dans la genèse des sciences sociales au XVIII^e siècle ». *Revue de Synthèse*, 1-2: 45-77.
- Le Moigne, Jean-Louis (1990). « Épistémologies constructivistes et sciences de l'organisation ». In : Martinet, A.-C. (dir.), *Épistémologies et sciences de gestion*. Paris, Economica, 81-140.
- Le Moigne, Jean-Louis (1994a). *La Théorie du système général. Théorie de la modélisation*. Paris, PUF, [1977].
- Le Moigne, Jean-Louis (1994b). *Le Constructivisme. Tome I – Des fondements*. Paris, Éditions ESF.
- Le Moigne, Jean-Louis (1995a). *Le Constructivisme. Tome II – Des épistémologies*. Paris, Éditions ESF.
- Le Moigne, Jean-Louis (1995b). *Les Épistémologies constructivistes*. Paris, PUF.
- Le Moigne, Jean-Louis (2001). « Pourquoi je suis un constructiviste non repentant ». *Revue du M.A.U.S.S.*, Paris, La Découverte, 17 : 197-223.
- Lichnerowicz, André, Perroux, François et Gadoffre, Gilbert (dir.) (1980). *Analogie et connaissance. Tome I - Aspects historiques*. Paris, Maloine.
- Marengo, Luigi (1995). « Apprentissage, compétences et coordination dans les organisations ». In: Lazaric, N. et Monnier, J.-M. (dir.), *Coordination économique et apprentissage des firmes*. Paris, Economica, 3-22.
- Mayr, Ernst (1961). « Cause and Effect in Biology. Kinds of Causes, Predictability, and Teleology Are Viewed by a Practicing Biologist ». *Science*, 134: 1501-1506.
- Miller, Arthur I. (2000). *Intuitions de génie. Images et créativité dans les sciences et les arts*. Paris, Flammarion.
- Nouvel, Pascal (2002). « Modèles et métaphores ». In: Nouvel, P. (dir.), *Enquête sur le concept de modèle*. Paris, PUF, 189-202.

- Ortony, Andrew (1993). « Metaphor, Language and Thought ». In: Ortony, A. (dir.), *Metaphor and Thought*. Cambridge, Cambridge University Press, 2^e édition, 1-16.
- Perelman, Chaïm (1969). « Analogie et métaphore en science, poésie et philosophie ». *Revue Internationale de philosophie*, 87 (1): 3-15.
- Perelman, Chaïm et Olbrechts-Tyteca, Lucie (2000). *Traité de l'argumentation*. Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles, [1988].
- Piaget, Jean (1967). *Logique et connaissance scientifique*. Paris, Gallimard.
- Popper, Karl (1973). *La Logique de la découverte scientifique*. Paris, Payot, [1934].
- Popper, Karl (1985). *Conjectures et réfutations. La croissance du savoir scientifique*. Paris, Payot, [1963].
- Popper, Karl (1990). *Post-scriptum à la logique de la découverte scientifique, I, Le réalisme et la science*. Paris, Hermann, [1983].
- Popper, Karl (1997). *Toute vie est résolution de problèmes. Questions autour de la connaissance de la nature*. Arles, Actes Sud, [1994].
- Reichenbach, Hans (1938). *Experience and Prediction*. Chicago, University of Chicago Press.
- Richards, Ivor A. (1936). *The Philosophy of Rhetoric*. New York, Oxford University Press.
- Ricœur, Paul (1975). *La Métaphore vive*. Paris, Seuil.
- Ricœur, Paul (2000). *La Mémoire, l'histoire, l'oubli*. Paris, Seuil.
- Rosenfield, Israel (1989). *L'Invention de la mémoire. Le cerveau, nouvelles données*. Paris, Eshel, [1988].
- Rosenfield, Israel (1990). *La Conscience. Une biologie du moi*. Paris, Eshel.
- Ruyer, Raymond (1954). *La Cybernétique et l'origine de l'information*. Paris, Flammarion.
- Ruyer, Raymond (1977). *La Gnose de Princeton*. Paris, Hachette.
- Sander, Emmanuel (2002). « L'Analogie, fondement de nos apprentissages ». *La Recherche*, 353: 40-43.
- Schlanger, Judith (1995). « Connaissance et métaphore ». *Revue de Synthèse*, 4: 579-592.
- Soler, Léna (2001). « Les Origines de la formule $\varepsilon = b \vee$ ou comment l'analogie est vecteur de nouveauté ». *Philosophia Scientiae*, 5 (2): 89-123.
- Terré, Dominique (1998). *Les Dérives de l'argumentation scientifique*. Paris, PUF.
- Tiberghien, Guy (1997). *La Mémoire oubliée*. Liège, Pierre Mardaga.
- Utaker, Arild (2002). « Analogies, métaphores et concepts ». In: Nouvel, P. (dir.), *Enquête sur le concept de modèle*. Paris, PUF, 203-221.
- Varela, Francisco J., Thompson, Evan et Rosch, Eleanor (1993). *L'Inscription corporelle de l'esprit. Sciences cognitives et expérience humaine*. Paris, Seuil.
- Vernant, Jean-Pierre et Vidal-Naquet, Pierre (1972). *Mythe et tragédie*. Paris, Maspéro.
- Vernant, Jean-Pierre et Vidal-Naquet, Pierre (1986). *Mythe et tragédie. Deux*. Paris, La Découverte.

- Walliser, Bernard (1998). « Analogy ». In: Davis, J. B., Hands, D. W. et Mäki, U. (dir.), *The Handbook of Economic Methodology*. Northampton (MA), Edward Elgar Publishing Limited, 8-12.
- Walliser, Bernard (2000). *L'Économie cognitive*. Paris, Odile Jacob.
- Weaver, Warren et Shannon, Claude (1975). *Théorie mathématique de la communication*. Paris, Retz.
- Winkin, Yves (1981). *La Nouvelle communication. Textes recueillis et présentés par Yves Winkin*. Paris, Seuil.
- Winkin, Yves (1996). *Anthropologie de la communication. De la théorie au terrain*. Bruxelles, De Boeck Université.